DUAL-PHONO-FIBEL

Herausgegeben von der Firma

Dual

GEBRÜDER STEIDINGER

St. Georgen/Schwarzwald

Ausgabe 1957

DUAL-PHONO-FIBEL

Herausgegeben von der Firma

Dual

GEBRÜDER STEIDINGER

St. Georgen / Schwarzwald

Ausgabe 1957

A) **Grundlagen der Akustik**

Was ist Schall? Ein Höreindruck, der durch bestimmte Schwingungen irgendwelcher Materie zustande kommt. Im allgemeinen sind es Luftschwingungen (Luft ist Materie), die den Hörvorgang über das Ohr und das Gehirn auslösen. Das Auf und Ab oder Hin und Her von Schwingungen verläuft wellenförmig. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei Wellenarten, nämlich zwischen Querwellen (Transversalwellen) und Längswellen (Longitudinalwellen). Die Querwellen schwingen senkrecht (quer) zu ihrer Laufrichtung, die Längswellen längs ihrer Fortbewegungsrichtung. Bei letzteren wechseln Verdichtungen und Verdünnungen des schwingenden Mediums im gleichen Rhythmus miteinander ab wie die Wellenberge und Wellentäler von Querwellen (Bild 1).

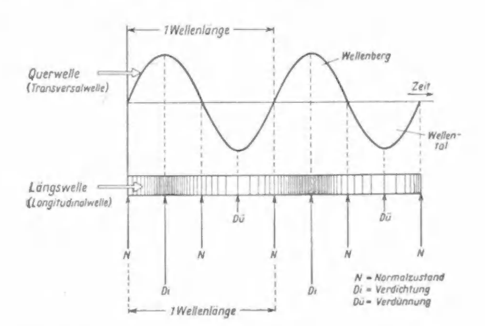


Bild 1

Wasserwellen, so wie wir sie im allgemeinen kennen, sind Querwellen (Transversalwellen). Die einzelnen Wasserteilchen schwingen, ohne sich seitlich zu bewegen, auf und ab. – Schallwellen sind Längswellen (Longitudinalwellen); sie rufen abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen des fortleitenden Mediums hervor.

Schallgeschwindigkeit

Schallwellen pflanzen sich in der Luft mit anderer Geschwindigkeit fort als in anderen Medien. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft, auf die es hier besonders ankommt, beträgt bei 20° C 340 Meter in der Sekunde (340 m/sec), bei 0° C 333 m/sec. Luft ist ein Gemisch verschiedener Gase, vor allem bestehend aus Stickstoff (78 %) und Sauerstoff (rd. 21 %). Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in gasförmigen Körpern ist unterschiedlich. Die folgende Tabelle gibt einige Werte für 20° C an:

Schallgeschwindigkeit in gasförmigen Körpern in m/sec

Kohlendioxyd	260	Wasserdampf	240
Sauerstoff	316	Leuchtgas	450
Luft	340 (bei 0° C 333 m/sec)	Helium	971
Stickstoff	338	Wasserstoff	1305

In flüssigen Medien ist die Schallgeschwindigkeit größer als in gasförmigen:

Schallgeschwindigkeit in flüssigen Körpern bei 20° C in m/sec

Benzin	1160	Petroleum	1400	Meerwasser	1510
Alkohol	1200	Wasser (rein)	1485		

Ganz unterschiedlich schnell ist die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern:

Schallgeschwindigkeit in festen Körpern bei 20° C in m/sec

Gummi (weich)	40 - 50	Papier	2000 – 2100	Kupfer	3500
Kork	430 - 530	Gold	2100	Marmor	3810
Paraffin	650	(Eis bei 0 °C	2100)	Granit	3950
Blei	1300	Silber	2678	Eisen	4900–5200
Hartgummi	1500 – 1570	Tannenholz	3320	Stahl	4990
Beton	1660	Eichenholz	3380	Aluminium	5105
Hanfschnur	1800	Buchenholz	3400	Glas	5200
		Messing	3480		

Durch Körper fortgeleiteten Schall nennt man „Körperschall".

Die Temperatur beeinflußt die Schallgeschwindigkeit. Für die Fortpflanzung des Schalls in Luft gelten folgende Werte:

Temperatur	Schall-geschwindig-keit m/sec	Temperatur	Schall-geschwindig-keit m/sec
— 10° C	330	+ 30° C	350
0° C	333	+ 100° C	390
+ 10° C	337	+ 500° C	550
+ 20° C	340	+ 1000° C	700

Schallausbreitung

Von der Erzeugungsstelle abgehend, breitet sich der Schall kugelförmig aus. Reine Kugelwellen entstehen aber nur dann, wenn die Abmessungen der Schallquelle klein sind, gemessen an der Länge der abgestrahlten Schallwelle (Schallwellenlänge: siehe weiter unten). In Gasen und Flüssigkeiten breitet sich der Schall in Form von Längswellen (Longitudinalwellen) aus. In festen Körpern kann die Schallfortpflanzung sowohl mit Längswellen als auch mit Querwellen (Transversalwellen) vor sich gehen.

Reichweite des Schalls

Sie hängt natürlich von der jeweiligen Lautstärke ab. Ungefähre Maximalwerte (für Luft) gehen aus folgender Zusammenstellung hervor:

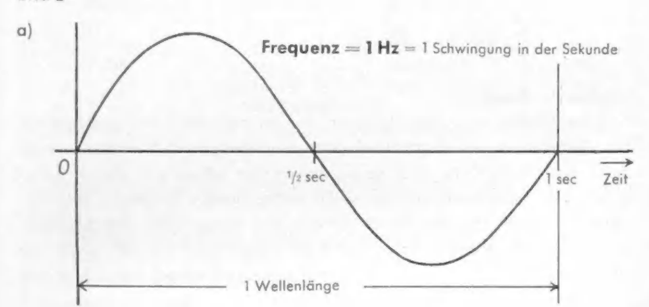
Rufweite	bis 1 km
Kirchenglocken	bis 5 km
Donner	bis 35 km
Kanonendonner	bis 150 km

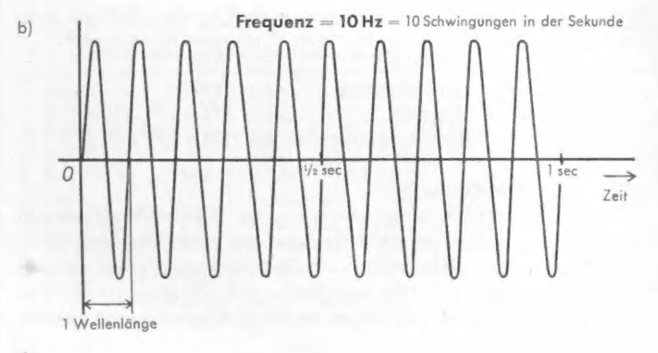
Frequenz und Wellenlänge

Die Höhe eines Tones hängt von den in der Zeiteinheit auftretenden ganzen Schwingungen ab: schnelle Schwingungen = hohe Töne, langsame Schwingungen = tiefe Töne. Die Schwingungszahl in der Sekunde wird in Hertz (abgekürzt Hz) angegeben; man bezeichnet sie mit „Frequenz". In grafischen Darstellungen werden Schallschwingungen der Ein-

fachheit halber als Querwellen gezeichnet (Bild 2). Das Bild läßt die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Frequenz, bzw. der Frequenz von der Wellenlänge erkennen. In dem Beispiel sind nur zwei Schwingungen angegeben, eine mit der Frequenz 1, die zweite mit der Frequenz 10. Es wird aus den Darstellungen a) und b) ersichtlich, daß die Wellenlänge mit wachsender Frequenz abnimmt. Schallwellen haben kürzere Wellen, d. h. höhere Frequenzen als die im Beispiel genannten.

Bild 2



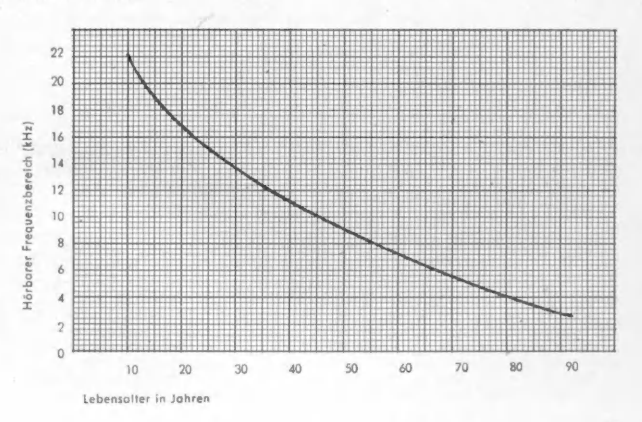


Schallfrequenz

Der tiefste Ton, den das normale menschliche Ohr aufzunehmen vermag, liegt bei etwa 16 Hz (16 Schwingungen in der Sekunde), der höchste bei 16000 Hz (16000 Schwingungen in der Sekunde). Die unhörbaren Schwingungen unter 16 Hz nennt man **Infraschall,** die über 16000 Hz **Ultraschall.** Viele Tiere hören noch Töne mit mehr als 16000 Hz. Es sei an die Hundeflöten erinnert, deren Pfeifen der Mensch nicht mehr hört. Infraschallschwingungen können von Großkraftmaschinen ausgehen und selbst auf größere Entfernungen schwere Zerstörungen hervorrufen. Ihre Frequenz liegt bei etwa 1 Hz. Wind und Brandung an den Meeresküsten verursachen Infraschallschwingungen in der Größenordnung von $^1/_{50}$ Hz. Es gibt noch längere Wellen dieser Art mit Schwingungszahlen herab bis zu $^1/_{2000}$ Hz, z. B. Erdbebenwellen, die zur Vollendung eines Wellenzuges rund 3 Minuten brauchen.

Einfluß des Alters auf die Hörfähigkeit

Mit zunehmendem Alter nimmt die Aufnahmefähigkeit für höhere Töne beim Menschen ab. Die Abhängigkeit der Hörbarkeit des akustischen Frequenzbandes vom Lebensalter wird durch die untenstehende Kurve veranschaulicht.



Lautstärke

Die Lautstärke ist ein Maß für die vom menschlichen Ohr empfundene Stärke des Schalls; es ist also ein dem Ohr angepaßtes Maß. Die empfundene Lautstärke steigt annähernd mit dem Logarithmus der tatsächlich vorhandenen Schallintensität. Die Einheit der Lautstärke ist das Phon. Als Normalschall dient bei der Messung eine ebene in der Luft fortschreitende sinusförmige Schwingung (Bild 3) der Frequenz 1000 Hz, die den Kopf des Beobachters von vorne trifft (beidohriges Abhören). Die Lautstärkeskala beginnt mit 0 Phon und endet bei 130 Phon (oberer Schallwert, Schmerzwelle).

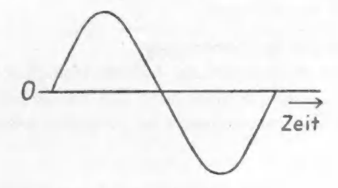


Bild 3 Sinusförmige Kurve

In der folgenden Tabelle sind einzelne Phonwerte zusammengestellt; die entsprechenden Schalldrucke in Mikrobar und die Schallstärke in Watt/cm² sind hinzugefügt.

Phon	Art des Geräusches	Schall-druck in Mikrobar	Schall-stärke in Watt/cm^2
0	Hörschwelle (Reizschwelle)	$2{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-16}$
10	Flüstern in einer Entfernung von 1,25 m, Blättersäuseln bei leichtem Wind	$6{,}324 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-15}$
20	Feiner Landregen, Geräusch in ruhigem Garten, in sehr ruhiger Wohnung, Uhrticken	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-14}$
30	Nahes Flüstern, Geräusch in Vorstadtstraße abends	$6{,}324 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-13}$
40	Zerreißen von Papier, ruhige Unterhaltungssprache, Tageslärm in Vorortgegend, leiser Rundfunkempfang	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-12}$
50	Straßenlärm mittlerer Stärke, Geräusche in großen Geschäftsräumen, mittlere Lautsprecher-Wiedergabe	$6{,}324 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-11}$
60	Staubsauger, verkehrsreiche Straße, einzelne Schreibmaschine, angeregte Unterhaltung, Fahrgeräusch in einem Eisenbahnwagen, laute Lautsprecher-Wiedergabe (Zimmer), Bürolärm bei geschlossenem Fenster	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-10}$
70	Schreibmaschinensaal, Lärm in größerem Bierlokal, Straßenbahn auf gerader Strecke, leise Autohupe	$6{,}324 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-9}$
80	Schreien, lautes Rufen, Donnerrollen, Untergrundbahn, starker Straßenverkehr, laute Fabriksäle	2	$1 \cdot 10^{-8}$
90	Preßluftbohrer, laute Hupe, Lokomotivpfiff	6,324	$1 \cdot 10^{-7}$
100	Nieten, Kesselschmiede, Motorradgeknatter, Löwengebrüll	20	$1 \cdot 10^{-6}$
110	Lärm in Flugzeugkabinen (bis) Blechschmiede mit Preßlufthammer	63,24	$1 \cdot 10^{-5}$
120	Flugzeugmotor in 3–4 m Entfernung	200	$1 \cdot 10^{-4}$
130	Schmerzschwelle (schmerzender Lärm)	632	$1 \cdot 10^{-3}$

Schalldruck

Unter dem Schalldruck versteht man den durch Schallschwingungen hervorgerufenen Wechseldruck je Flächeneinheit. Maß für den Schalldruck: Mikrobar (μb) = Dyn/cm^2. 1 Mikrobar ist der millionste Teil eines „bar", der größten Maßeinheit für Drucke. 1 Millibar ist der tausendste Teil eines „bar".

Zum Vergleich:

1 bar = 0,987 Atmosphären (physikalische)
= 1,02 at (technische Atm., kg/cm^2)
= 10^6 Mikrobar (Dyn/cm^2).

Zur Erläuterung:

Der Druck ist die senkrecht auf eine Fläche wirkende Kraft, bezogen auf die Flächeneinheit. Die Einheit des Druckes ist (nach dem CGS-System) gegeben durch

$1\ Dyn/cm^2 = 1$ Mikrobar.

1 Dyn ist die Einheit der Kraft; sie wird definiert als diejenige Kraft, die der Masse 1 g die Beschleunigung 1 gal erteilt ($1\ gal = \frac{1\ cm/s}{s} = 1\ cm/s^2$; ein gal ist die Einheit der Beschleunigung, die einer Geschwindigkeitszunahme von 1 cm/s in der Sekunde entspricht).

10^6 Dyn = 1 Megadyn
10^8 Dyn = 1 Vis (v) (latein. „vis" = Kraft).

Schallstärke

Die Schallstärke (Schallintensität) ist die Schalleistung, die in der Sekunde durch die Flächeneinheit 1 cm^2 strömt, daher das Maß „$Watt/cm^2$" (Watt = Leistungsmaß). Die Schallstärke darf nicht mit der **Laut**stärke verwechselt werden.

Schallschnelle

Die Schallschnelle gibt die Geschwindigkeit an, mit der ein Masseteilchen hin- und herschwingt (nicht mit der Schallgeschwindigkeit zu verwechseln). Die Schallschnelle ist groß, wenn der Schalldruck groß ist und klein, wenn das Medium dem Schalldruck einen großen Widerstand entgegensetzt (Schallschnelle = s). Das Produkt Schallschnelle (s) mal Strömungsquerschnitt nennt man „Schallfluß" (s · F).

Akustischer Widerstand und akustischer Scheinwiderstand

In der Elektrotechnik ist die Maßeinheit für den Widerstand das Ohm. In der Akustik bezeichnet man den Widerstand, der dem Vordringen des Schalls entgegengesetzt wird, mit Schallhärte und mißt diese in „akustischen Ohm":

$$1 \text{ akust. Ohm} = \frac{1 \text{ Dyn/cm}^2}{1 \text{ cm/sec}}$$

Unter einem „akustischen Scheinwiderstand" versteht man das Verhältnis Z des Schalldrucks p zum Schallfluß:

$$Z = \frac{\text{Schalldruck}}{\text{Schallfluß}} = \frac{p}{s \cdot F}$$

Schwingungsvorgänge allgemein

Jeder Schwingungsverlauf wird in grafischer Darstellung durch einen zeitabhängigen Kurvenverlauf dargestellt, dessen Höchstwerte „Amplituden" heißen (Bild 4). Man unterscheidet „gedämpfte" und ungedämpfte Schwingungen. Einem mit gleichbleibender Lautstärke abgegebenen Ton entspricht an ein und derselben Stelle, d. h. in einem Punkt bestimmter Entfernung vom Schallerzeuger, eine ungedämpfte Schwingung (Bild 5); Amplituden stets gleicher Höhe. Mit wachsender Entfernung von der Schallquelle wird die Amplitude immer kleiner, die Schwingung erfährt auf ihrem Wege eine Dämpfung. Im allgemeinen versteht man jedoch unter einer gedämpften Schwingung eine solche, bei der die Amplituden schon an der Erzeugerstelle (mit der Zeit) abnehmen (Bild 6).

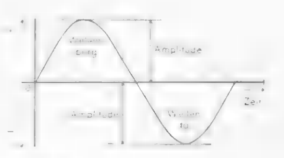


Bild 4

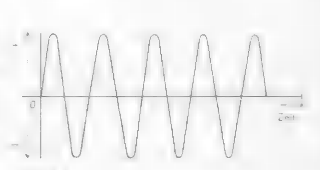


Bild 5
Ungedämpfte Schwingungen

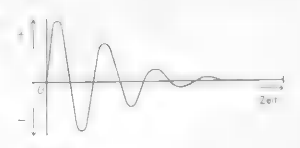


Bild 6
Gedämpfte Schwingungen

Treffen zwei oder mehrere Wellenzüge aufeinander, so entsteht eine neue Welle anderer Art. Den Vorgang nennt man „Interferenz". Haben die interferrierenden Wellen gleiche Längen und liegen ihre Maxima und Minima (ihre Amplitudenhöchstwerte) in gleichen Zeitpunkten (man spricht dann von gleicher Phase), dann addieren sich beide Wellen zu einer dritten mit Amplitudenhöhen, die der Summe der beiden ursprünglichen Amplituden entsprechen (Bild 7). Mit anderen Worten: treffen Berg und Tal der einen Welle (I) mit Berg und Tal der anderen (II) in einem Raum genau zusammen, so ergibt sich eine Welle mit einer Amplitude gleich der Summe der Einzelamplituden (Verstärkung): III.

Zwei Wellen gleicher Länge können sich bei gleichen Amplituden auslöschen, wenn ihre Wellenberge und Wellentäler derart gegeneinander verschoben sind, daß ein Wellenberg der ersten Welle mit einem Wellental der zweiten Welle genau zusammenfällt (Bild 8). Der Techniker spricht in diesem Fall von einer Phasenverschiebung um 180°. Bei verschiedener Schwingungszahl nennt man den Vorgang: Überlagerung.

Von einer Schwebung spricht man, wenn sich zwei Töne deren Frequenzen nur wenig voneinander verschieden sind, überlagern. Schwebungen zeigen sich z. B. beim Klavier, wenn ein Ton von zwei oder drei Saiten erzeugt wird und diese Saiten nicht genau aufeinander abgestimmt sind.

Bei genauer Abstimmung, z. B. zweier Saiten oder zweier Stimmgabeln aufeinander, regen die Schwingungen des ersten Systems das zweite zu Schwingungen an (Resonanz). Jeder Körper kann in „Resonanzschwingungen" geraten, wenn das ihn umgebende Medium in der Frequenz der ihm eigentümlichen Schwingungen (Eigenschwingungen) hin und her pendelt. Hier nur nebenbei: Resonanzschwingungen in den Schwingkreisen von Rundfunkgeräten ermöglichen überhaupt den Empfang.

Verkleinert sich die Entfernung zwischen einer Schallquelle und dem Ohr, so findet eine Tonerhöhung statt, bei Vergrößerung der Entfernung eine Tonerniedrigung. Das Phänomen läßt sich z. B. beim Vorbeifahren einer pfeifenden Lokomotive beobachten. Es beruht darauf, daß bei näher kommender Schallquelle mehr Schwingungen in der Zeiteinheit das Ohr erreichen (Tonfrequenzerhöhung), als bei ruhenden Verhältnissen, umgekehrt bei der Entfernung der Schallquelle (Dopplersches Prinzip).

Bild 7
Interferenz zweier Wellen gleicher Länge und gleicher Phase

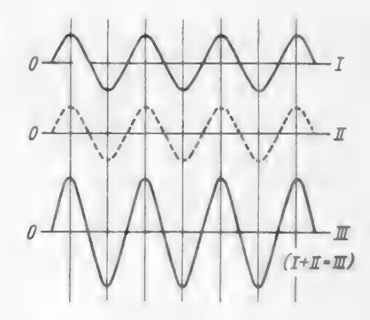
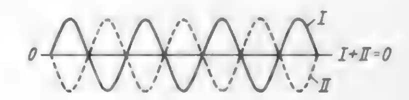


Bild 8



Musikphysikalische Grundlagen

In folgender Tabelle sind die Schwingungszahlen der musikalischen Töne in Hertz und die ihnen entsprechenden Wellenlängen in m angegeben: Der tiefste, von Musikinstrumenten erzeugte Grundton ist das Orgel-Subkontra (C 2), das mit 16,35 Hz schwingt. Der tiefste Klavierton ist das Subkontra A (A 2) mit 27,50 Hz. Der höchste Klavierton ist das fünfgestrichene c (c 5) mit 4186 Schwingungen in der Sekunde. Die Orgel übertrifft auch nach den Höhen hin alle Musikinstrumente.

Der Ton a 1 mit der international festgelegten Schwingungszahl 440 Hz wird „Kammerton" genannt. Nach ihm richtet sich die ganze „Stimmung".

Wenn man von „Tönen" spricht, so drückt man sich im allgemeinen falsch aus, denn ein Ton ist der Schalleindruck einer einfachen Schallschwingung

Musikal. Bezeich.	Frequenz Hz	Wellen-länge m	Musikal. Bezeich.	Frequenz Hz	Wellen-länge m	Musikal. Bezeich.	Frequenz Hz	Wellen-länge m
C 2	16,35	20,82	f	174,61	1,949	a 3	1 760,00	0,1935
D 2	18,35	18,54	g	196,00	1,736	h 3	1 975,54	0,1722
E 2	20,60	16,51	a	220,00	1,548	c 4	2 093,02	0,1626
F 2	21,83	15,59	h	246,94	1,378	d 4	2 349,33	0,1448
G 2	24,50	13,89	c 1	261,63	1,301	e 4	2 637,03	0,1290
A 2	27,50	12,39	d 1	293,67	1,159	f 4	2 793,84	0,1219
H 2	30,87	11,02	e 1	329,63	1,032	g 4	3 135,98	0,1085
C 1	32,70	10,41	f 1	349,23	0,975	a 4	3 520,00	0,0968
D 1	36,71	9,27	g 1	392,00	0,868	h 4	3 951,09	0,0861
E 1	41,20	8,26	**a 1**	**440,00**	**0,774**	c 5	4 186,03	0,0813
F 1	43,65	7,80	h 1	493,89	0,689	d 5	4 698,66	0,0724
G 1	49,00	6,94	c 2	523,25	0,651	e 5	5 274,07	0,0645
A 1	55,00	6,19	d 2	587,33	0,579	f 5	5 587,68	0,0609
H 1	61,74	5,51	e 2	659,26	0,615	g 5	6 271,97	0,0543
C	65,41	5,20	f 2	698,46	0,487	a 5	7 040,00	0,0484
D	73,41	4,63	g 2	783,99	0,434	h 5	7 902,18	0,0431
E	82,41	4,13	a 2	880,00	0,387	c 6	8 372,06	0,0407
F	87,31	3,90	h 2	987,77	0,345	d 6	9 397,32	0,0362
G	98,00	3,47	c 3	1 046,51	0,3253	e 6	10 548,13	0,0323
A	110,00	3,10	d 3	1 174,67	0,2897	f 6	11 175,36	0,0305
H	123,47	2,76	e 3	1 318,52	0,2580	g 6	12 543,93	0,0271
c	130,81	2,602	f 3	1 396,92	0,2437	a 6	14 080,30	0,0242
d	146,83	2,317	g 3	1 567,99	0,2170	h 6	15 804,36	0,0215
e	164,81	2,064						

von sinusförmiger Form. Mit dem im Sprachgebrauch üblichen Wort „Ton" wird fast immer ein „Klang" bezeichnet, denn auch der einzelne Klavier-„Ton" ist ein „Klang", d. h. ein Schallschwingungsgemisch, bestehend aus einem tiefsten Ton, dem „Grundton" und Teiltönen (Obertönen), die um ganze Vielfache schneller schwingen als der Grundton (siehe weiter unten).

Bild 9 gibt den Grundton-Frequenzumfang einiger Musikinstrumente und von Stimmlagen wieder.

Der Klangumfang der Instrumente wie der Stimme ist, bedingt durch die mitschwingenden Obertöne, wesentlich höher.

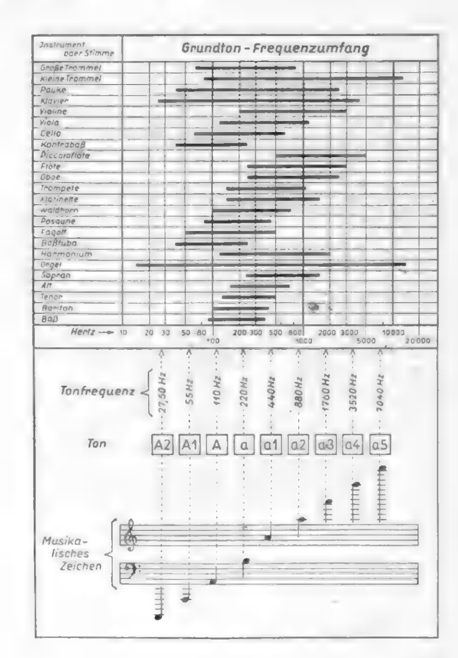


Bild 9

Die Klangfarbe

Jedes Instrument (wie auch jede Stimme) hat eine bestimmte „Klangfarbe". Der gleiche Ton a klingt, auf der Trompete gespielt, anders als auf der Klarinette, anders auf der Violine oder der Flöte; das Klavier-a hat eine andere Klangfarbe als das Cembalo-a, usw. Die Klangfarbe wird durch die oben erwähnten Obertöne, durch ihre Zahl und Art bestimmt. Bild 10 veranschaulicht die Schwingung einer Saite; die Grundschwingung ist bei a skizziert; schwächer schwingen die in ihrer Frequenz doppelt so hohen Obertöne (b), mit dreifach höherer Frequenz treten zusätzliche Obertöne, hervorgerufen durch das Schwingen der Saite in ihren Dritteln (c) auf. Hinzu kommen, je nach dem Instrument, viele weitere Obertöne (Oberschwingungen), stets mit Frequenzen gleich ganzen Vielfachen der Grundfrequenz. – Von schwingenden Luftsäulen, wie sie in Blasinstrumenten oder bei der Orgel gegeben sind, gilt das gleiche, wie von den Schwingungen der Saiten von Saiteninstrumenten. In allen Fällen werden mechanische Schwingungen (seien es die von Saiten, von Zungen oder von Luftsäulen) in abstrahlende Schallwellen, manchmal sehr komplizierter Art, umgesetzt. – Obertöne werden auch „Harmonische" genannt. Die einen Vokal kennzeichnenden Obertöne nennt man „Formanten".

Unter einem „Geräusch" versteht man das Zusammenwirken sehr vieler unharmonischer Einzeltöne. Ein „Knall" ist ein einzelner Schallstoß großer Schallstärke.

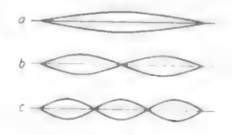


Bild 10
Zusammensetzung mehrerer sinusförmiger Tonschwingungen zum Klang. a) Grundton, b) und c) Oberschwingungen = (Vielfache vom Grundton)

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne zueinander wird als „Intervall" (Tonstufe) laut folgender Tabelle bezeichnet:

Intervalle (Tonstufen)

Oktave	1 : 2	kleine Terz	5 : 6
Quinte	2 : 3	große Sexte	3 : 5
Quarte	3 : 4	kleine Sexte	5 : 8
große Terz	4 : 5		

Die reine Dur-Tonleiter (diatonische Stimmung) hat Einzelfrequenzen, von einem zum nächsten Ton gerechnet, dem folgende Schritte entsprechen:

$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

Geht man z. B. von dem Ton c mit 1 aus, so ergibt sich folgende Reihe:

c	d	e	f	g	a	h	c′
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

(Für e errechnet aus: $\frac{9}{8} \cdot \frac{10}{9} = \frac{5}{4}$ für c′ $= \frac{16}{15} \cdot \frac{15}{8} = 2$ usw.).

In der Musik hat diese Schrittfolge gewisse Nachteile, deshalb hat man sich auf die „temperierte" Stimmung festgelegt, bei der die Oktave in 12 logarithmisch gleich große Intervalle geteilt ist. Jeder Schritt ist durch das Verhältnis 1 : 1,0595 festgelegt.

Für die absolute Tonhöhe ist der Kammerton „a" mit 440 Hz maßgebend. Danach ergeben sich z. B. für c die folgenden Frequenzwerte für beide Stimmungen:

Bezeichnung	Ton	Frequenzen der Stimmungen in Hz	
		diatonisch	temperiert
Subcontra	C_2	16,5	16,35
Contra	C_1	33	32,7
Groß	C	66	65,4
Klein	c	132	130,8
Eingestrichenes	c^1	264	261,6
Zweigestrichenes	c^2	528	523,2
Dreigestrichenes	c^3	1056	1046,5
Viergestrichenes	c^4	2112	2093
Fünfgestrichenes	c^5	4224	4186
Sechsgestrichenes	c^6	8448	8372

Schalldruckwerte und Schalleistungswerte für verschiedene Musikinstrumente und für Orchester enthält die folgende Tabelle:

Instrument	Entfernung in m	Schalldruck in μbar		Schalleistung in Watt
		Mittelwert	Spitzenwert	
Piccolo-Flöte	1	2,2	20	0,04
Klarinette	1	3,3	26	0,05
Baß-Tuba	1	5,4	43,2	0,2
Klavier	3	2,6	23	0,27
Baß-Saxophon	1	4	58	0,29
Trompete	1	8,6	54	0,3
Flöte	1	1,6	14	1,5
Posaune	1	6,5	22,8	6,4
Orgel	5	20	90	12,5
Große Pauke	1	100	1260	25
Kleines Orchester 15 Mann	2 m vom nächsten Instrument	7,9	90	5
Großes Orchester 75 Mann	5 m vom nächsten Instrument	4,6	130	67

Der musikalischen Lautstärke entsprechen folgende Werte und Bezeichnungen:

Phon	Bezeichnung	Phon	Bezeichnung	Phon	Bezeichnung
10	pppp	40	p	70	ff
20	ppp	50	mf	80	fff
30	pp	60	f	90	ffff

Das Wechseln der Lautstärken bei akustischen Vorgängen (Musik, Gesang, Sprache) nennt man „Dynamik". In technischem Sinne wird das Verhältnis von größter zu kleinster Lautstärke eines akustischen Vorganges als Dynamik bezeichnet. Sowohl beim Rundfunkempfang als auch bei anderen stimmlichen oder musikalischen Schalläußerungen wird der Größenwert der Dynamik nach unten hin durch die Höhe der Amplitude des Störgeräusches (Grundgeräusch) begrenzt, nach oben hin durch eine

Maximalamplitude, bei der verzerrungsfreie Wiedergabe gerade noch möglich ist. Bei Schallplatten-Wachsaufnahmen läßt sich ein Dynamikwert von etwa 50 db, beim Magnetofonverfahren ein solcher bis 65 db, beim Lichttonverfahren von 40 db erreichen. Die untere Grenze ist durch Rauschen, die obere durch bestimmte Verzerrungen (Klirrfaktor), auf die noch eingegangen wird, gegeben.

Physiologische Akustik

Es hieß vorher allgemein, daß das menschliche Ohr Schallfrequenzen zwischen 16 und 16000 Hz aufzunehmen vermag. Es ist aber nicht gleichmäßig empfindlich für das ganze Frequenzband. Töne in dem Gebiet um 3000 Hertz werden am besten aufgenommen, d. h. daß das Ohr bei Frequenzen dieser Größenordnung geringste Schalldrücke aufzunehmen vermag ($2 \cdot 10^{-4}$ Millibar). Tiefe Töne und hohe Töne werden vom Ohr schlechter verarbeitet: der Schalldruck, der eine Gehörempfindung hervorruft, ist weit höher (grafische Darstellung Bild 11).

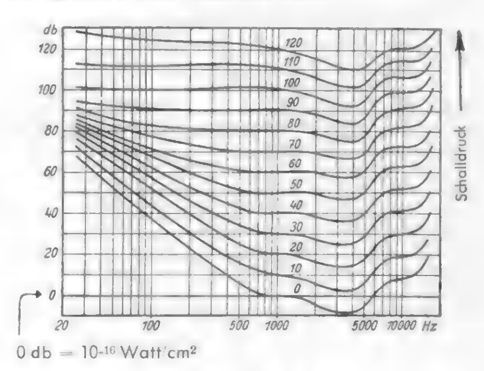


Bild 11
Kurven gleicher Lautstärkeempfindung

Die untere Waagerechte ist logarithmisch unterteilt. Würde man sie „linear" (normal) in Hz-Werte teilen, so müßte man seitlich außerordentlich viel Raum zur Verfügung haben. Bei einer gewöhnlichen Maßleiter liegen stets gleiche Abstände zwischen den Werten, z. B. zwischen 1 und 2 und 3, oder zwischen 15 und 16 usw. Beim logarithmischen Maß wird

zwischen einem Maßstrich und dem nächsten gleichwertigen Strich immer der zehnfache Wert erreicht (Bild 12 zeigt zwei logarithmische Maßstäbe).

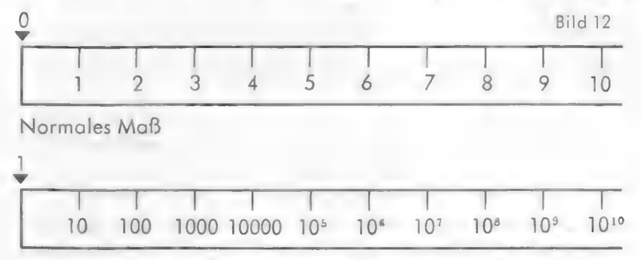


Bild 12

Will man eine derartige Maßskala über 1 hinaus nach kleineren Werten hin verlängern, um bis zu Null zu gelangen, so mißlingt das. Man kann Null nicht erreichen, weil zwischen den Strichen auch wieder das Verhältnis 1 : 10 herrschen muß. Man kommt also nach 1 (abwärts) beim nächsten gleichweit entfernten Strich auf $^1/_{10}$, der nächste Strich liegt bei $^1/_{100}$, der übernächste bei $^1/_{1000}$; Null kann nie erreicht werden.
In der grafischen Darstellung Bild 11 entspricht der Schalldruck Zahlenwerten, die in „db" angegeben sind. db ist eine Abkürzung für „Dezibel". (Das Dezibel ist der zehnte Teil eines „Bel"). Es ist keine Maßeinheit wie etwa das Meter oder das Gramm, es läßt lediglich das Verhältnis zweier gemessener Werte zueinander erkennen (Dämpfungen, Lautstärken, Spannungen, Ströme, Leistungen usw.). Zum Beispiel wird am Ausgang eines Verstärkers eine bestimmte Spannung gemessen: am Eingang wird eine andere, niedrigere Spannung ermittelt. Das Verhältnis der Eingangsspannung beträgt im Beispiel vielleicht 1 : 1000, entsprechend einer Verstärkung um das Tausendfache. – Das Dezibel gibt dieses Verhältnis nicht im natürlichen Zahlensystem, sondern logarithmisch an (Logarithmus des Spannungsverhältnisses).
Da es sich bei Dezibel-Angaben immer um Verhältniszahlen handelt, lassen sich die absoluten Größen aus diesen nicht direkt entnehmen (wie auch nicht aus den grafischen Darstellungen mit db-Angaben).

Die Lautstärke wird bekanntlich in „Phon" angegeben. Das ist die Anzahl Dezibel (db) über eine bestimmte Schallstärke (Schallintensität), welcher der Wert null Phon zugeordnet wird. Auf einer Konferenz im Jahre 1937 wurde diese Schallintensität mit 10^{-16} W/cm² festgelegt. Sie entspricht einem effektiven Schalldruck von $2 \cdot 10^{-4}$ Dyn/cm². Leider hält man sich nicht überall an die Vereinbarungen, so daß oft zusätzliche Hinweise erforderlich werden, wie das hier in den grafischen Darstellungen der Bilder 11 und 13 geschehen ist.

Zwischen der Reizschwelle (untere Grenze der Schallempfindung) und Schmerzschwelle (obere Grenze der Schallempfindung) liegt das Hörgebiet, das in Bild 13 als Hörfläche erscheint. Der „Musikbereich" ist als kleinere Fläche (Grundtonbereich) in die erste eingezeichnet.

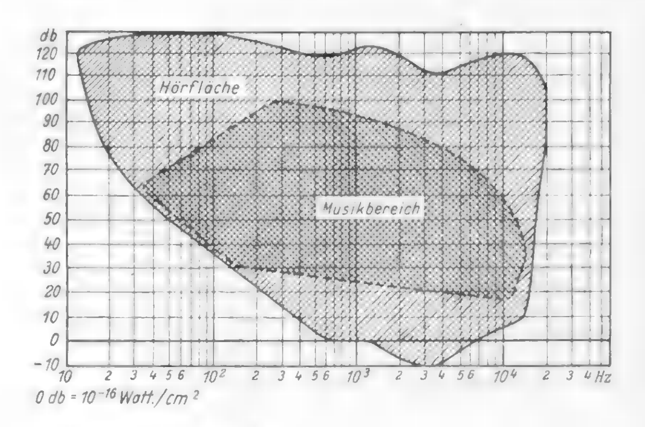


Bild 13 Umfang des Hörbereichs

Auch diese Darstellung läßt erkennen, daß die Hörempfindung sowohl von der Schallintensität als auch von der Frequenz abhängig ist. Das normale Ohr ist im Gebiet um 3000 Hertz am empfindlichsten, d. h., daß

es bei Frequenzen dieser Größenordnung geringste Schalldrücke aufzunehmen vermag (2 · 10^{-4} Millibar). Bei tiefen und ganz hohen Tönen ist der Schalldruck, der eine Gehörempfindung hervorruft, weit höher. Die vom menschlichen Ohr dem Gehirn übermittelte Schallempfindung steigt nicht einfach in demselben Maße, sondern viel langsamer an, als die wirkliche physikalisch gemessene Energie des Schalles. Das bedeutet, daß eine an sich schon starke Schalläußerung einer viel größeren zusätzlichen Schallmenge bedarf, um als lauter empfunden zu werden. Man kann diese Tatsache mit der normalen Druckempfindung vergleichen, wenn der Vergleich auch sehr grob ist: Die Hinzufügung eines 30-Gramm-Gewichtes zu einem auf die Handfläche gelegten 100-Gramm-Gewicht ist durchaus fühlbar. Lagen jedoch ursprünglich 1000 Gramm auf der Hand, so merkt man die Vermehrung um 30 Gramm überhaupt nicht. Eine Gewichtssteigerung wird erst bei einem Zusatzgewicht von 300 Gramm merkbar. In der Akustik ist es so, daß das menschliche Ohr **Lautstärkenänderungen** um 1 Phon gerade eben noch wahrnehmen kann.

Der vom Ohr aufnehmbare **Intensitätsintervall** ist außerordentlich groß: er beträgt bei einer Frequenz von 1000 Hz zwischen Reizschwelle und oberer Hörgrenze 1 : 100000 Millionen.

Mit **Lautheit** bezeichnet man die Empfindungsstärke des Ohrs für den Schall. Bild 14 läßt die Abhängigkeit der Lautheit von der Lautstärke erkennen.

Die Schallempfindung ist zeitabhängig. Volle Lautheit tritt erst nach 0,2 Sek. ein, um dann sehr langsam abzuklingen (Ermüdung). Nach jeder Erregung der Ohrnerven vergeht eine verhältnismäßig lange Zeit, bis der Ruhezustand (keine Lautempfindung) wieder eintritt (etwa 0,5 Sek.).

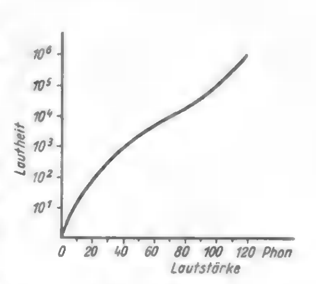


Bild 14
Abhängigkeit der Lautheit von der Lautstärke

Die Unterscheidungsfähigkeit des Gehörs für Frequenzschwankungen ist von dem jeweiligen Frequenzbereich abhängig, wie die Kurve Bild 15 angibt.

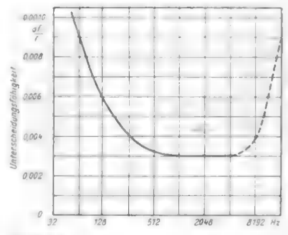


Bild 15
Unterscheidungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz (Unterscheidungsfähigkeit = wahrnehmbare Frequenzänderung)

Wenn das Ohr einen Toneindruck aufnimmt, dann wird seine Empfindlichkeit für einen weiteren Ton einer anderen Frequenz und kleinerer Lautstärke herabgesetzt. Ist der Lautstärkeunterschied groß, so kann der schwächere Ton von dem lauteren „verdeckt" werden. Daher werden Störgeräusche bei genügend großer Nutzlautstärke nicht mehr wahrgenommen (Verdeckung). Andererseits verursacht Nachhall durch Verdekkung eine Herabsetzung der Verständlichkeit. Diese in Abhängigkeit von der Nachhallzeit veranschaulicht die Kurve in Bild 16.

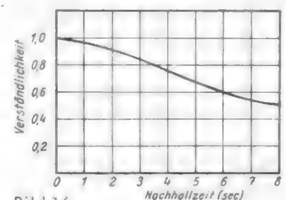


Bild 16
Verständlichkeit in Abhängigkeit von der Nachhallzeit

Zahlenmäßig wird die „Verständlichkeit" nach dem prozentualen Anteil der richtig verstandenen Worte oder Silben zur Gesamtzahl der gesprochenen Worte oder Silben angegeben. Um Kombinationsmöglichkeiten des Hörers auszuschalten, läßt man den Sprecher sinnlose Silben (genormt als Logatome) sagen. Diese „Silbenverständlichkeit" ist abhängig von dem übertragenen Frequenzband (Bild 17).

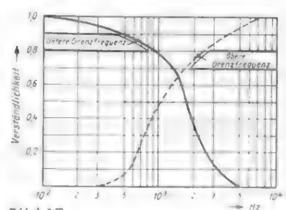


Bild 17
Verständlichkeit in Abhängigkeit von dem übertragenen Frequenzband

B) **Grundlagen der Elektroakustik**

Die Elektroakustik beschäftigt sich vor allem mit der Umwandlung von Schallschwingungen in elektrische Schwingungen, bzw. mit der Rückverwandlung des „Elektroschalls" in „Hörschall" und den dabei anfallenden Nebenaufgaben (Verstärkung, Anhebung oder Absenkung bestimmter Tonfrequenzen, usw.).

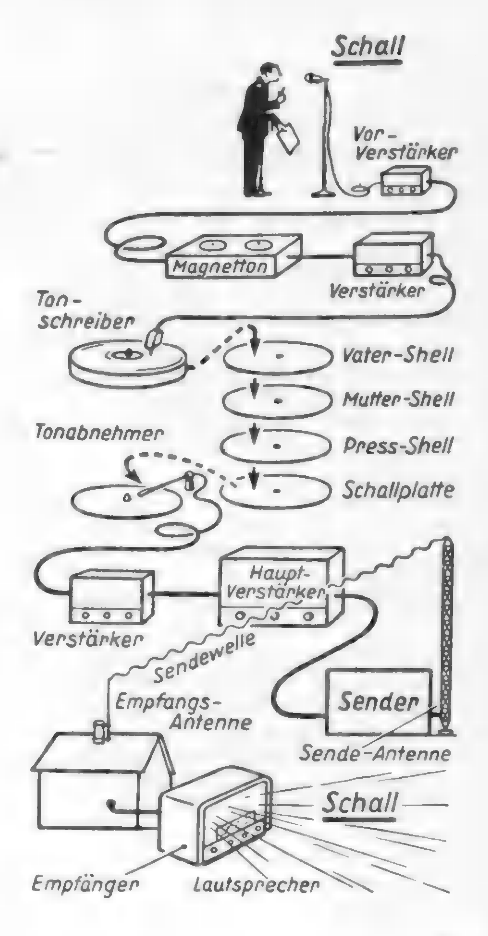
Ein weiteres wichtiges Gebiet der Elektroakustik ist die Schallkonservierung, sei es der auf Schallplatten, Tonbändern oder Filmstreifen.
In der Abkürzung spricht man oft von „Ela-Anlagen" und meint damit „elektroakustische Anlagen". –

Die Schallaufnahme erfolgt bekanntlich durch Mikrofone. Die diesen entnommenen schwachen tonfrequenten Schwingungen werden verstärkt (Verstärker) und einem Kopfhörer oder Lautsprecher zugeführt. An Stelle des Mikrofons tritt bei der Wiedergabe von Schallplatten der Tonabnehmer. Weiter unten wird auf die verschiedenen elektroakustischen Geräte näher eingegangen.

Soll eine, dem natürlichen Klangbild nahekommende Musikwiedergabe durch den Lautsprecher erfolgen, so sind viele Vorbedingungen zu erfüllen: Das Mikrofon muß den gesamten Tonfrequenzbereich gleichmäßig gut aufnehmen können, die Verstärker und Lautsprecher müssen die Töne desselben Bereiches so verarbeiten, daß weder die Tiefen noch die Höhen beeinträchtigt werden. Hilfsschaltungen ermöglichen ein Anheben der unteren oder oberen Tonlagen, der Tiefen oder der Höhen. Bedenkt man, wie vielen Wandlungen der Schall auf seinem Weg von der Schallquelle bis zum Ohr bei Rundfunksendungen unterworfen ist, so ist den Elektroakustikern hohes Lob zu zollen. Das großartigste Beispiel ist wohl eine gute Radioübertragung von Schallplattenmusik. Verfolgen wir einmal den Schallweg von der Schallquelle bis zum Ohr des Hörers. Ein Mikrofon verwandelt die auftretenden Schallschwingungen in elektrische. Diese werden verstärkt einem Magnettongerät zugeführt. Das abrollende Band hält die ihm zugeführten elektrischen Schwingungen fest (Bild 18).

Vom Band wird auf eine Wachsplatte „umgespielt", was nicht ohne abermalige Verstärkung der abgenommenen Bandtonschwingungen möglich

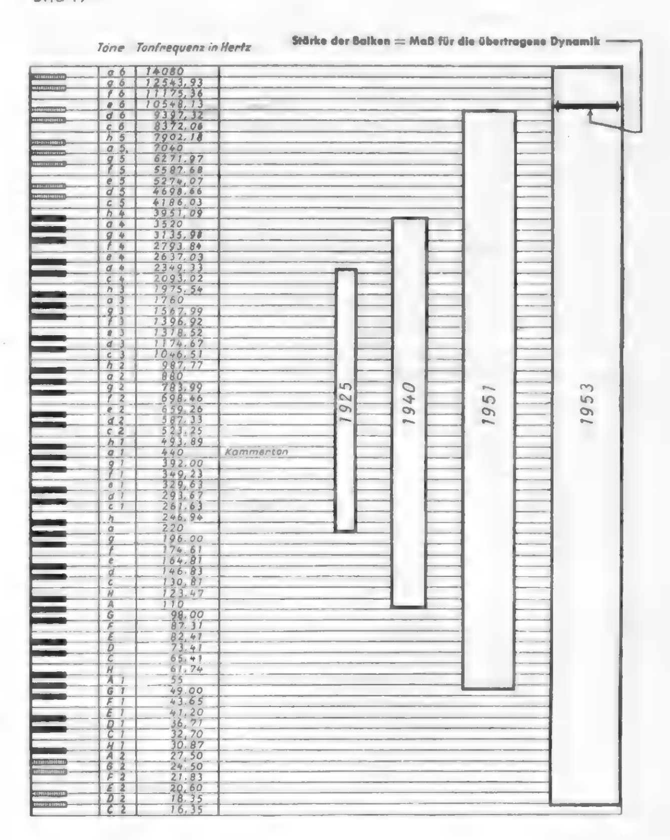
Bild 18


Schall
Vor-
Verstärker
Magnetton
Verstärker
Ton-
schreiber
Vater-Shell
Mutter-Shell
Tonabnehmer
Press-Shell
Schallplatte
Haupt-
Verstärker
Verstärker
Sendewelle
Empfangs-
Antenne
Sender
Sende-Antenne
Schall
Empfänger
Lautsprecher

ist. Ein Tonschreiber setzt die elektrischen Schwingungen in mechanische um. Entsprechend wellige Rillen werden in die kreisende Platte graviert. Von der ursprünglichen Wachsplatte wird ein Negativ hergestellt, von diesem ein Positiv, das selbst wieder zur Erzeugung neuer Negative verwandt wird, die als metallische Platten zum Pressen der abspielfähigen normalen Schallplatten dienen. Am Sender wird eine dieser Platten mit Hilfe eines „Tonabnehmers" abgetastet, d. h. daß die beim Kreisen der Schallplatte dem Tonabnehmer mitgeteilten mechanischen Schwingungen erneut in elektrische umgewandelt werden. Diese gelangen über Verstärker zum Sender und werden hier der Ätherwelle aufgeladen (Modulation). Die vom Hörer empfangene „schallbeladene" Welle wird im Rundfunkgerät verstärkt, gleichgerichtet, das Ergebnis als tonfrequente Schwingung nochmals verstärkt und dem Lautsprecher zugeführt. Von dem, was am Ende herauskommt, vom Lautsprecherschall, verlangt der Hörer, daß es dem Original vor dem Mikrofon gleichkommt. Doch selten bedenkt er, welcher Mühen es seitens der „Technik" bedurfte, um zu der Wiedergabequalität zu gelangen, die heute selbstverständlich ist. Es bleibt zu erwähnen, daß es nicht allein darauf ankommt, das gesprochene Wort oder die musikalische Darbietung tongerecht zu übertragen, die Wiedergabe muß nach Möglichkeit auch mit der gleichen Dynamik, wie sie dem Original zu eigen ist, erfolgen. Das heißt, daß die Lautstärkenwechsel originalgetreu weitergegeben werden müssen und zwar vom zartesten Pianissimo bis zum kräftigsten Fortissimo.

Was auf dem Gebiete der Phonotechnik in den letzten Jahrzehnten an Fortschritten, d. h. an Verbesserungen der Aufnahme- und Wiedergabetechnik von Schallplatten erreicht wurde, geht aus der grafischen Darstellung Bild 19 hervor. Die Länge der waagrechten Streifen im unteren Teil der Zeichnung entspricht der in den Jahren 1925, 1940, 1951 und 1953 erreichten Wiedergabe-Bandbreite. Die Dicke der Streifen entspricht dem jeweiligen Dynamikumfang (Dynamik: Verhältnis von kleinster zu größter Lautstärke, z. B. bei einem Orchesterkonzert). Erst seit einiger Zeit kann man der Schallplatte die gesamte Dynamik einer Konzertaufführung mitgeben, während man früher die Pianissimostellen für die Plattenbeschriftung „anheben" bzw. die Fortissimostellen „dämpfen" mußte.

Bild 19



Töne
Tonfrequenz in Hertz
Stärke der Balken = Maß für die übertragene Dynamik
a 6 14080
g 6 12543,93
f 6 11175,36
e 6 10548,13
d 6 9397,32
c 6 8372,06
h 5 7902,18
a 5 7040
g 5 6271,97
f 5 5587,68
e 5 5274,07
d 5 4698,66
c 5 4186,03
h 4 3951,09
a 4 3520
g 4 3135,98
f 4 2793,84
e 4 2637,03
d 4 2349,33
c 4 2093,02
h 3 1975,54
a 3 1760
g 3 1567,99
f 3 1396,92
e 3 1318,52
d 3 1174,67
c 3 1046,51
h 2 987,77
a 2 880
g 2 783,99
f 2 698,46
e 2 659,26
d 2 587,33
c 2 523,25
h 1 493,89
a 1 440
Kammerton
g 1 392,00
f 1 349,23
e 1 329,63
d 1 293,67
c 1 261,63
h 246,94
a 220
g 196,00
f 174,61
e 164,81
d 146,83
c 130,81
H 123,47
A 110
G 98,00
F 87,31
E 82,41
D 73,41
C 65,41
H 61,74
A 1 55
G 1 49,00
F 1 43,65
E 1 41,20
D 1 36,71
C 1 32,70
H 1 30,87
A 2 27,50
G 2 24,50
F 2 21,83
E 2 20,60
D 2 18,35
C 2 16,35
1925
1940
1951
1953

Mikrofone

Die ältesten unter ihnen sind die **Kohle-Mikrofone**. Sie bestehen im Prinzip aus einem mit Kohlekörnchen gefüllten Gehäuse, über das abschließend eine dünne Membran gespannt ist. Zwei Kontaktstifte ragen in die Kohlefüllung hinein, sie sind mit einer Batterie verbunden. Zu Versuchszwecken ist in Bild 20 ein Meßinstrument in den Stromkreis geschaltet. Die Kohlekörnchen setzen dem Stromfluß einen gewissen Widerstand entgegen, daher schlägt das stromanzeigende Instrument nur schwach aus: es kann nur ein schwacher Strom durch den Kreis fließen. Wird das Mikrofon besprochen, so werden die Kohlekörnchen im Rhythmus der Schallfrequenzen zusammengedrückt (die Membran teilt den Kohlekörnchen den wechselnden Schalldruck mit). Das Zusammenpressen der Kohlekörnchen verringert ihren elektrischen Gesamtwiderstand, so daß bei starkem Schalldruck ein stärkerer Strom fließt als bei schwachem Druck. Die Schallfrequenzen werden also in Stromschwankungen umgesetzt, die ihr Abbild sind. – Diese Art von Mikrofonen nennt man auch **„Kontakt-Mikrofone"**. Sie sind heute noch am häufigsten vertreten, bedingt durch ihre Anwendung in der Fernsprechtechnik. Vorteile: hoher Wirkungsgrad. Nachteile: starke Verzerrungen. Für die Ansprüche der Rundfunk-, Tonfilm- und Schallplattentechnik reichen sie nicht aus. – Die Anschaltung dieser Mikrofone erfolgt nach Bild 21 über einen Transformator (niederohmige Mikrofontransformatoren 1 : 25 bis 1 : 30, hochohmige Trafos 1 : 5 bis 1 : 8). Gleichspannungsquelle 2 bis 8 Volt.

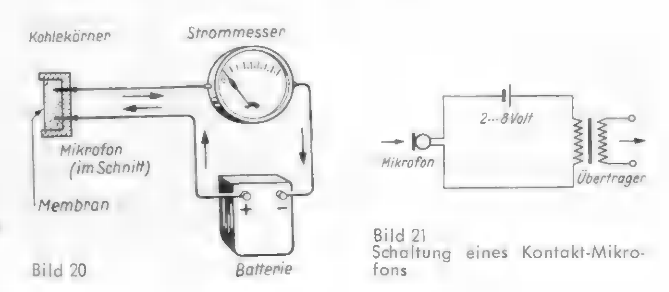


Bild 20

Bild 21
Schaltung eines Kontakt-Mikrofons

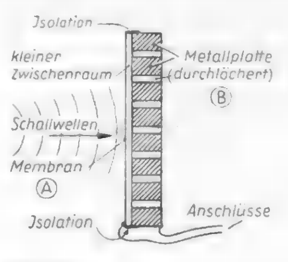


Bild 22
Schema eines Kondensator-Mikrofons (Schnitt)

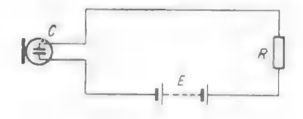


Bild 23
Schaltung eines Kondensator-Mikrofons

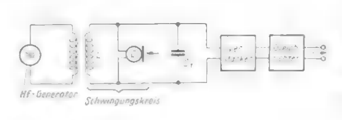
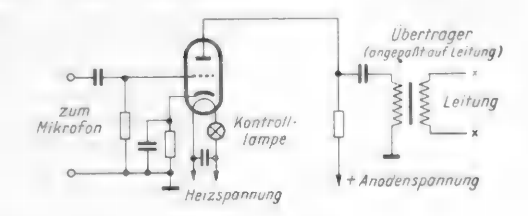


Bild 24
Hochfrequenzschaltung eines Mikrofons

Hochwertige Mikrofone sind die **„Kondensator-Mikrofone"** (kapazitive Mikrofone). Prinzip: Die Schallaufnahme-Membran bildet mit einer Platte in geringem Abstand von ihr einen Kondensator, dessen Kapazität sich entsprechend den Membranschwingungen ändert. Die Mikrofonkapazität beträgt etwa 100 pF. Ihren technischen Aufbau veranschaulicht Bild 22 schematisch. Einer festen, aus gewissen Gründen durchlöcherten Metallplatte (B) steht eine dünne metallische Membran (A) gegenüber, die bei auftreffenden Schallwellen in Schwingungen gerät. Im angeschlossenen Stromkreis bilden sich die Schallschwingungen in Gestalt von Spannungsschwankungen ab. Die Anschaltung zeigt Bild 23. R ist ein Widerstand von 40 bis 80 Megohm, E eine Gleichspannungsquelle von 100 Volt. Ändert sich der Kapazitätswert von C, so ändert sich auch die Spannung an den Kontakten des Kondensator-Mikrofons und entsprechend an R. – Diese „Niederfrequenzschaltung" ist üblich. – In der Hochfrequenzschaltung, Bild 24, die wenig verwendet wird, ändert das Mikrofon als Kapazität eines Schwingkreises die Eigenfrequenz des letzteren und moduliert die Amplitude einer HF-Spannung: Gleichrichtung ergibt die NF-Spannung.

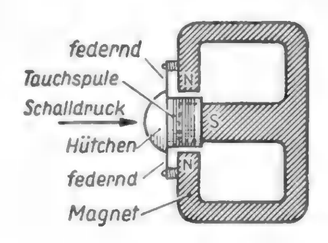
Kondensator-Mikrofone werden direkt mit einer Verstärkerröhre zusammengebaut, da die Empfindlichkeit bei angeschlossener längerer Leitung zurückgeht; Schaltung nach Bild 25. – Kondensator-Mikrofone haben eine sehr ausgeglichene Frequenzkurve. Empfindlichkeit etwa 0,6 mV/μbar.

Bild 25
Schema eines Mikrofonverstärkers



„Tauchspulen-Mikrofone" sind dynamische Lautsprecher mit umgekehrten Funktionen: Eine Tauchspule, befestigt an einer im Verhältnis zum Lautsprecher sehr kleinen Membran, taucht in ein ringförmiges Magnetfeld (Bild 26). Moderne Ausführungen zeichnen sich durch sehr gute Frequenzkurven aus, die bis 15000 Hz linear sind.

Bild 26
Schema eines Tauchspulen-Mikrofons



„Kristall-Mikrofone" (piezoelektrische). Bestimmte Kristalle (Turmaline, Quarze, Seignettesalze) zeigen eine elektrische Ladung an ihrer Oberfläche, wenn auf sie Druck ausgeübt wird (piezoelektrischer Effekt). Die Seignettesalze sind in dieser Hinsicht am empfindlichsten und können

zum Bau von Mikrofonen Verwendung finden. Man schneidet aus den besonders gezüchteten Kristallen in ganz bestimmter Richtung Plättchen von etwa 0,3 mm Stärke und belegt sie auf beiden Seiten mit Stanniol. Zwei solcher Anordnungen werden zu einer Doppelplatte zusammengeklebt. Bei Biegebeanspruchung wird ein Kristall gedehnt, der andere verkürzt. Die an den Belegen auftretenden Spannungen addieren sich. Nach Bild 27 werden zwei Doppelplatten, zu einer „Klangzelle" vereint (luftdichter Abschluß des Zwischenraumes). Eine Klangzelle hat eine Oberfläche von etwa 1 cm^2. Mehrere Zellen können zu einer Einheit zusammengefaßt werden. Empfindlichkeit 0,2 bis 0,5 mV/μbar. Neben der Klangzellenausführung werden die empfindlicheren Membran-Mikrofone hergestellt; schematischer Aufbau siehe Bild 28. Empfindlichkeit 0,8 bis 1,5 mV/μbar. – Die Verbindungsleitung zwischen Mikrofon und Verstärker vermindert die Empfindlichkeit entsprechend der Parallelschaltung der Leistungskapazität der Kapazität des Mikrofons bzw. Kristalls.
Die verminderte Empfindlichkeit U_2 ist bei Parallelschaltung der Leistungskapazität C_2 zur Mikrofon- bzw. Kristallkapazität C_1:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Der Kapazitätswert von Kristall-Mikrofon beträgt ca. 1000 pF.

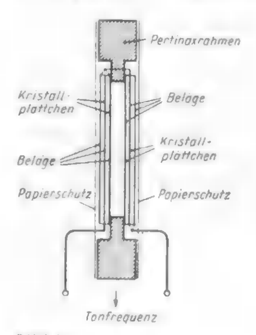


Bild 27
Schema der Klangzelle eines piezoelektrischen Mikrofons

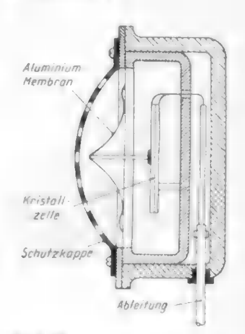


Bild 28
Schnitt durch ein Kristall-Membranmikrofon

Der Richteffekt spielt bei den Mikrofonen eine wichtige Rolle. Man kann für jedes System eine Richtcharakteristik angeben, die nach der jeweiligen Frequenz verschieden ist. Die Charakteristik ist kreis- bzw. kugelförmig bei Mikrofonen, die auf Schalldruck ansprechen. Voraussetzung sind kleine Abmessungen des Mikrofons. In der Praxis werden die senkrecht zur Membran einfallenden Schallstrahlen bevorzugt aufgenommen. Bild 29 zeigt eine solche Charakteristik, bei der verschiedene Frequenzen berücksichtigt sind.

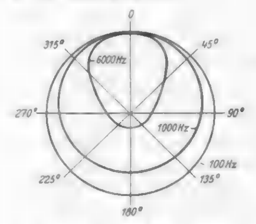


Bild 29 Richtwirkungskurven eines Mikrofons bei verschiedenen Frequenzen

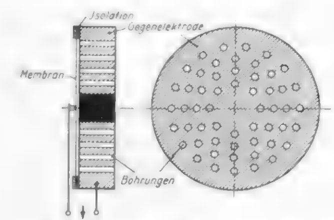


Bild 30 Kapsel eines Kondensator-Mikrofons (schematisch) mit Achtercharakteristik

Wenn beide Seiten der Membran dem Schallfeld ausgesetzt sind, wie z. B. bei dem Kondensator-Mikrofon nach Bild 30, bei dem die Gegenelektrode und ihre Unterlage durchbohrt sind, ergibt sich eine Achtercharakteristik nach Bild 31. Die Form einer Kardiole in Bild 32 (Nierencharakteristik) ergibt sich z. B. bei dem Kondensator-Mikrofon der in

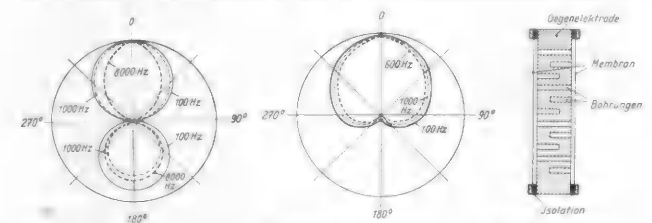


Bild 31 Richtcharakteristik des Mikrofons nach Bild 30

Bild 32 Richtcharakteristik eines Kondensator-Mikrofons nach Bild 33

Bild 33 Kondensator-Mikrofon mi nierenförmiger Richtcharakteristik

Bild 33 gezeigten Form (einseitige Richtkurve). Jedenfalls hat man es durch konstruktive Maßnahmen in der Hand, gewünschte Richtwirkungen zu erzielen.

Will man Schall scharf gebündelt von einer bestimmten Stelle aufnehmen, so verwendet man **„Reflektor-Mikrofone"**, die im Brennpunkt eines Parabolspiegels eingebaut sind. Zu Gruppen zusammengefaßt ermöglichen es die Reflektor-Mikrofone, eine vollkommene Schallaufnahme von jeder Richtung her zu erzielen.

„Rohr-Mikrofone" tragen über ihrem eigentlichen System ein kürzeres oder längeres dünnes Rohr, das in einem trichter- oder kugelförmigen Schallaufnehmer endet. Derartige Mikrofone lassen sich unauffällig anbringen. Die geringen Abmessungen der Schallaufnahmeöffnungen vermeiden Schallverzerrungen. Empfindlichkeit durchschnittlich 0,08 mV/μbar.

Unter einem „Körperschall-Mikrofon" versteht man ein Mikrofon, bei dem die Schallübertragung unter Vermeidung des Luftweges und durch Ausnützung der Schallfortleitung in festen Körpern, z. B. im Knochengerüst des menschlichen Körpers, vor sich geht.

Die verhältnismäßig schwachen Spannungsschwankungen, welche die Mikrofone liefern, müssen bekanntlich einem Verstärker zugeführt werden, der es ermöglicht, den aufgenommenen Schall über Lautsprecher in gewünschter Stärke wiederzugeben. Das gleiche gilt für das Abspielen von Schallplatten mit Hilfe von Tonabnehmern.

Schallplatten und Schallplattenabtastung

Den besten Beweis dafür, daß Schallwellen Luftwellen sind (Verdichtungen und Verdünnungen der Luft), deren Rhythmus der jeweiligen Tonhöhe entspricht, liefern in eindrucksvoller Weise die ersten Phonographen (Phon, griech. = Ton; graphein, griech. = schreiben). Edison erfand die Sprechmaschine im Jahre 1877. Die äußere Form des ersten Modells zeigt Bild 34.

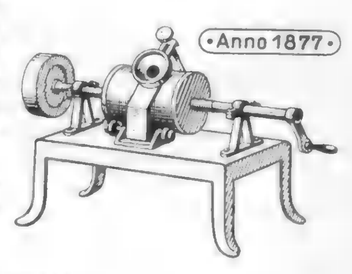


Bild 34

Mitten auf einer dünnen Membran ist rückwärtig ein Schreibstift aus hartem Material befestigt, der auf einer mit Stanniol beklebten Walze aufliegt (Bild 35). Schallwellen bringen die Membran zum Vibrieren, so daß während der Walzendrehung durch Membranschwingungen entsprechende Vertiefungen in das Stanniol eingedrückt werden. Während der Drehung wird die Membran mit ihrem Stift langsam seitlich bewegt. Auf diese Weise entstehen spiralig, rings um die Walze, „Schallrillen".
Bei der Wiedergabe bringen die Rillenvertiefungen die Membran zum Schwingen und damit die umgebende Luft (Bild 36). Die entstandenen Schallwellen ähneln den aufgesprochenen: die Wiedergabe war denkbar schlecht, aber der Phonograph war für die damalige Zeit eine große Sensation.

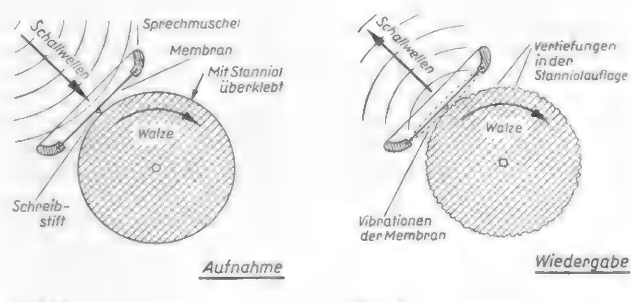


Bild 35

Bild 36

Später wurde die primitive Schallwalze, d. h. die mit Stanniol beklebte Holzrolle durch einen Wachszylinder ersetzt. Der Antrieb erfolgte nicht mehr von Hand, sondern durch ein Uhrwerk. Ein Schalltrichter sorgte für bessere Aufnahmebedingungen und für eine günstigere Schallabstrahlung. An eine Vervielfältigung der Aufnahme war aber noch nicht zu denken. Jeder einzelne Wachszylinder mußte besonders besprochen, bespielt oder besungen werden; jeder einzelne Zylinder war ein Original, das sauber in einer mit Watte ausgeschlagenen Kartonhülle aufbewahrt wurde.

Ein wesentlicher Fortschritt ergab sich, als E. Berliner 1887 die Wachswalze durch eine flache runde Scheibe ersetzte: die „Schallplatte" war geboren. Berliner ging dabei von der Tiefenschrift Edisons zur Seitenschrift (Berliner Schrift) über. Nicht Rillenvertiefungen, sondern seitliche Rillenauslenkungen entsprachen den Tonfrequenzen (Bild 37).

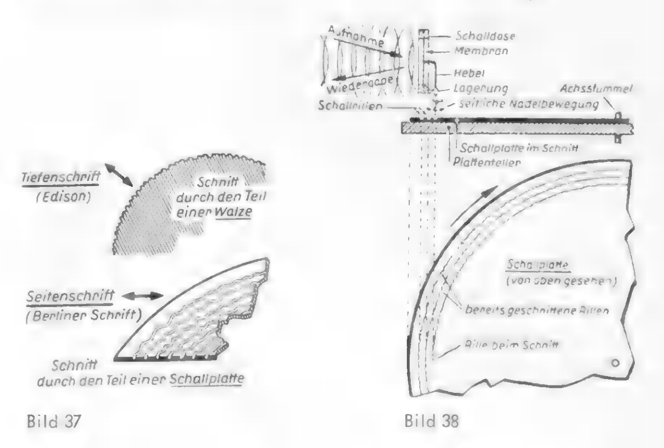


Bild 37

Bild 38

Im Prinzip wurde die Membranbewegung durch eine Hebeleinrichtung auf die kreisende Scheibe übertragen (Bild 38). Die Anordnung ist allgemein bekannt, denn sie ist für die mechanische Wiedergabe von Schallplatten bis heute erhalten geblieben. Selbst der Trichter blieb auch bei modernen Koffergeräten (für mechanische Wiedergabe), wenn er auch äußerlich nicht mehr erkennbar ist.

Die Einführung der Berliner Schrift gestattete eine Vervielfältigung der einmal in Wachs gemachten Aufnahme. Von der Urplatte wurde auf galvanischem Wege ein Negativ hergestellt: die Wachsplatte wurde, nachdem ihre Oberfläche durch Aufstäuben von Graphitpulver oder durch Versilbern leitend gemacht wurde, in einem „galvanischen Bad" mit einer dünnen Metallschicht überzogen, die später abgelöst wurde.

Um sie stabiler zu machen, wurde sie durch Unterlegen mit einer Stahlschicht verstärkt. Dieses Schallplatten-Negativ hätte nun ohne weiteres zum Pressen käuflicher Schallplatten verwendet werden können. Da sich aber der einmalige „Vater" mit der Zeit abgenutzt hätte, stellte man mit seiner Hilfe ein zweites „Positiv" her, eine „Mutter", und mit ihr ein zweites Negativ, einen „Sohn", dieser wurde dann endgültig zum Pressen der Schallplatten verwendet (Bild 39).

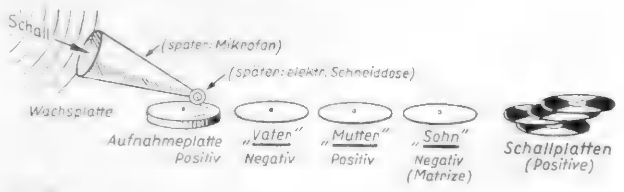


Bild 39

Das Grundsätzliche des Preßvorgangs über die beschriebenen verschiedenen Stufen ist bis heute erhalten geblieben. Eine Plattenpresse mit zwei Matrizen („Söhnen") ist in der Zeichnung Bild 40 schematisch wiedergegeben.

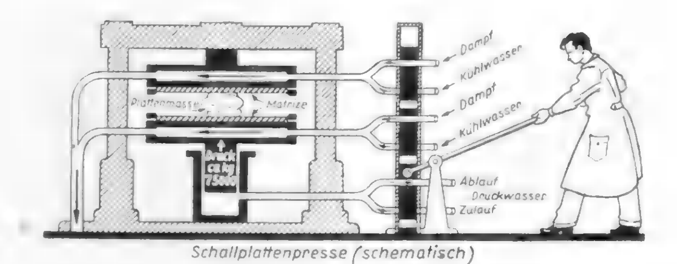


Bild 40

Die Erfindung der Elektronenröhre führte zu grundlegenden Verbesserungen: Aufnahme und Wiedergabe konnten auf elektrischem Wege vorgenommen werden, der ein viel feineres Arbeiten gestattet. – Daneben wurden die Federlaufwerke durch elektrische ersetzt. In der Aufnahmetechnik ging man dazu über, den Schall zunächst auf „Band" zu nehmen, anstatt direkt auf die Wachsplatte (Bild 41). Vom Band wird dann auf die Wachsplatte übergespielt. Das Verfahren hat eine Reihe von Vorzügen gegenüber der alten Methode; es erleichtert u. a. das Verbessern nicht zur Zufriedenheit ausgefallener Stellen. – Die dicken Aufnahme-Wachsplatten werden immer weniger verwendet, man ersetzt sie durch Lackfolien, deren Gefüge feiner ist. – Zum Schneiden benutzt man eine „Schneiddose", deren Aufbau in Bild 42 (stark schematisiert) skizziert ist.

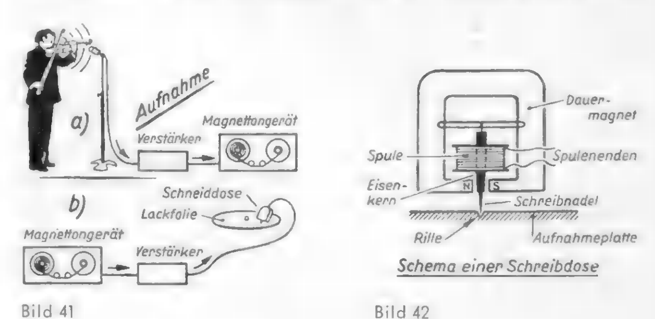


Bild 41

Bild 42

Zwischen den Polen eines Dauermagneten kann ein kleiner, von einer Spule umgebener Eisenkern hin- und herschwingen. Wird die Spule von tonfrequenten Strömen durchflossen (Elektroschall), der ihr von einem Mikrofon oder einem Magnettongerät über einen Verstärker zugeführt wird, dann wird der Eisenkern im gleichen Rhythmus magnetisiert. Er schwingt, von den Polen des Dauermagneten abgestoßen oder angezogen, hin und her. Am unteren Ende des Eisenkerns ist die Schreibnadel befestigt, welche die welligen Rillen in die Wachsplatte oder Lackfolie graviert. Die Schneiddose wird mechanisch in radialer Richtung geführt, so daß bei der Plattendrehung Spiralrillen entstehen.

Heute verwendet man fast ausschließlich Schreiber, die nach dem elektrodynamischen Prinzip arbeiten. Der Stift besteht aus einem entsprechend geschliffenen Saphir.

Das Leistungsvermögen wird für Tonschreiber in mm Lichtbandbreite je Volt angegeben. Der Ausdruck „Lichtbandbreite" bedarf einer Erklärung. Läßt man parallele Lichtstrahlen, z. B. Sonnenlichtstrahlen, schräg auf eine Schallplatte oder eine Wachsplatte auffallen, so werden die Lichtstrahlen an den Rillenwänden reflektiert: es entsteht der Eindruck eines verschieden breiten Lichtbandes. Die folgende Tabelle läßt die Zusammenhänge zwischen Auslenkung (Amplitude), Geschwindigkeitsamplitude (bei einem sinusförmigen Ton: das Produkt aus Auslenkung und Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$) und Lichtbandbreite erkennen.

Frequenz f (Hz)	Auslenkung a in μ (1/1000 mm)	Geschwindigkeits-Amplitude/s ($a \cdot \omega$ in cm/sec)	Lichtbandbreite/b für 78 U/min (in mm)
50	65	2,05	5
100	65	4,10	10
150	65	6,15	15
200	65	8,20	20
250	65	10,25	25
300	54	10,25	25
400	41	10,25	25
500	32,5	10,25	25
1000	16,3	10,25	25
5000	3,3	10,25	25

Die Geschwindigkeitsamplitude s, die Amplitude a, die Kreisfrequenz ω und die Lichtbandbreite b stehen in folgender Beziehung zueinander:

$$s = \omega \cdot a \text{ (cm/sec)}$$
$$s = b \cdot \pi \cdot n/60 \text{ (cm/sec)}$$

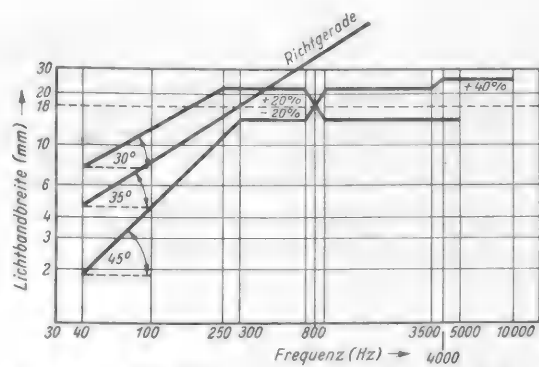


Bild 43
Zulässige Toleranzen einer Schallplattenaufnahmeapparatur gemessen durch die Lichtbandbreite

Bei konstanter Schallintensität sind die Auslenkungen, wie aus der Tabelle ersichtlich, groß. Zwischen 50 und 250 Hz zeichnet man mit konstanter Auslenkung auf, während man bei den höheren Frequenzen mit konstanter Geschwindigkeitsamplitude arbeitet. Es ergibt sich ein theoretischer Frequenzgang (zulässige Toleranz) für eine Schallplattenaufnahmeapparatur, gemessen durch die Lichtbandbreite, nach Bild 43.

Ein Schallplattenausschnitt, unter der Lupe betrachtet (Bild 44), zeigt verschiedenartig wellige Rillen. Die langwelligen rufen bei der Wiedergabe tiefe Töne hervor, die kurzwelligen hohe Töne. Die seitlichen Rillenauslenkungen sind um so größer, je stärker der ursprüngliche Schalleindruck war. Daher muß ein Mindestrillenabstand gewahrt bleiben. (Unabhängig von der Lautstärke nimmt die Rillenauslenkung mit höherer Frequenz ab.)

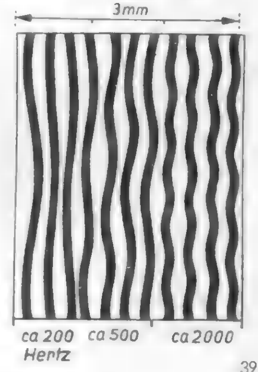


Bild 44

Bei der Einführung der Berliner Schrift wurde die Umdrehungszahl des Plattentellers mit 78 Umdrehungen je Minute (U/min) festgelegt, und sie wurde bis heute beibehalten. Seit jeher war man bestrebt, die Spieldauer der Schallplatte zu steigern, ihren Durchmesser zu verkleinern und die Wiedergabequalität zu verbessern. Die seit einigen Jahren bekannten Mikrorillenschallplatten mit 33¹/₃ U/min bzw. 45 U/min werden diesen Wünschen gerecht und zeichnen sich besonders durch hervorragende Wiedergabe aus.

Diese „Langspielplatten" drehen sich nicht nur langsamer, wodurch sich allein schon eine Vergrößerung der Spieldauer ergibt, die Rillen liegen auch näher aneinander (Mikrorillen), so daß auch dadurch die Spieldauer der Platte bei gleichem Durchmesser vergrößert wird.

Während die Normalspielplatten hauptsächlich aus Schellack bestehen, werden die Mikrorillenschallplatten aus einem Kunststoff (Vinilyt) hergestellt, der nicht nur eine rauscharme, ja rauschfreie Wiedergabe, sondern auch eine tonqualitativ bessere gewährleistet.

Durch Anwendung eines nach hohen Frequenzen hin stark angehobenen Schneidfrequenzganges wird das ohnehin schon geringe Rauschen der Kunststoffplatte bei der Wiedergabe noch stärker unterdrückt. Mit Hilfe moderner Aufnahme- und Wiedergabegeräte läßt sich mit Langspielplatten ein Tonfrequenzumfang von 30–14000 Hz verzerrungsfrei meistern. – Das Material der Mikrorillenschallplatten ist relativ leicht; auf Grund der Materialzähigkeit können die Platten dünner hergestellt werden, so daß ihr Gewicht wesentlich geringer ist als das der Schellackplatten. Die Vinilytplatten sind zwar empfindlicher gegen Kratzer, dafür aber praktisch unzerbrechlich. Die vielen Vorteile wiegen den geringen Nachteil, daß ihre Oberfläche vorsichtiger behandelt werden muß, längst auf.

Sowohl die Schallplatten für 33¹/₃ Umdrehungen in der Minute, wie auch die 17-cm-Platten werden mit Mikrorillen geschnitten.

Der Unterschied der auf 1 mm entfallenden Rillen und damit die verschiedenen Rillenabstände bei Normal- und Mikrorillenschallplatten sind aus Bild 45 zu ersehen.

Bei der Abtastung von Mikrorillen- bzw. Vinilytplatten darf die Auflagekraft des Tonabnehmers 10 Gramm nicht überschreiten.

Eine weitere Verlängerung der Spieldauer läßt sich dadurch erzielen, daß man den Rillenabstand veränderlich macht. Bild 46 zeigt den Ausschnitt aus einer Platte mit „normalem", d. h. gleichmäßigem Rillenabstand, unter Berücksichtigung gelegentlich auftretender großer Auslenkungen bei großen Lautstärken. Macht man die Abstände verschieden groß (variabel), d. h. lenkt man den Gravierungsvorgang automatisch derart, daß bei Fortestellen der Abstand größer ist als bei Pianostellen (Bild 47), so gewinnt man wesentlich an Raum: die Spieldauer wird größer (Rheinsches Füllschriftverfahren der „Teldec", variable Micrograde der „Deutschen Grammophon-Gesellschaft").

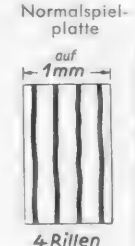


Bild 45

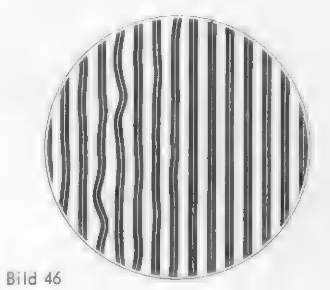


Bild 46

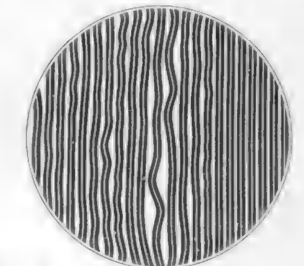


Bild 47

Zur Abtastung der in den Schallplatten eingravierten Schallschrift benutzt man heute fast ausschließlich elektrische Tonabnehmer. Die Wirkungsweise dieser Tonabnehmer beruht darauf, daß die durch die Rillenauslenkungen der Tonabnehmernadel aufgezwungene Bewegung in eine dieser Bewegung proportionale elektrische Wechselspannung umgesetzt wird. In der Praxis werden heute hauptsächlich 3 Arten von Tonabnehmern benutzt, die sich in ihrer konstruktiven Ausführung als mechanisch-elektrische Wandler grundsätzlich unterscheiden, es sind dies:

magnetische Tonabnehmer,
dynamische Tonabnehmer,
piezoelektrische Tonabnehmer (Kristall-Tonabnehmer).

Die Spannungserzeugung bei diesen 3 gebräuchlichsten Tonabnehmerarten geschieht wie folgt:

Bei magnetischen Tonabnehmern wird durch Bewegung eines magnetisch leitenden Materials (Anker) in einem Magnetfeld der eine Spule durchsetzende Kraftfluß geändert und in dieser Spule eine Spannung induziert. Magnetische Tonabnehmer geben eine elektrische Spannung ab, deren Größe der Geschwindigkeitsamplitude proportional ist.

Bei dynamischen Tonabnehmern wird durch Bewegung einer von Kraftlinien durchflossenen Spule in dieser eine Spannung induziert. Auch die von solchen Tonabnehmern abgegebene elektrische Spannung ist proportional der Geschwindigkeitsamplitude.

Bei Kristall-Tonabnehmern nutzt man den direkten piezoelektrischen Effekt von Kristallen. Es werden in überwiegendem Maße Kristalle aus Seignette- bzw. Rochellesalz benutzt. Es sind dabei zwei oder mehrere Kristallplättchen unter bestimmter kristallinischer Orientierung zusammengeklebt und mit Elektroden versehen, auf denen sich bei Deformation der Kristallplättchen (je nach Richtung der Kristallachsen Druck oder Zug, Biegung oder Torsion) eine elektrische Ladung bildet bzw. eine elektrische Spannung indiziert wird. – Piezoelektrische Tonabnehmer geben eine Spannung ab, die der Bewegungsamplitude proportional ist. An alle Tonabnehmer werden mit Rücksicht auf Wiedergabegüte und Plattenschonung die folgenden Forderungen gestellt:

Die abgegebene Spannung muß proportional der Rillenauslenkung sein, und es muß sich bei der vorgegebenen frequenzabhängigen mechanischen Amplitude der Schallschriftträger eine im ganzen Übertragungsbereich annähernd konstante Ausgangsspannung ergeben (linearer Frequenzgang).

Die Kurvenform der abgegebenen Wechselspannung muß proportional der Bewegungsamplitude bzw. der Rillenauslenkung sein (geringe nichtlineare Verzerrungen). Die statische Rückstellkraft – die Kraft, die zur Auslenkung der Nadel aus ihrer Ruhelage aufgewendet werden muß – und die dynamische Rückstellkraft – die Wechselkraft, die sich aus der statischen Rückstellkraft und der Massenträgheit der bewegten Teile zusammensetzt – müssen im Interesse geringer Rillen- und Nadelbeanspruchung klein sein.

Anstelle der früher üblichen magnetischen Tonabnehmer verwendet man heute fast ausschließlich Kristall-Tonabnehmersysteme. Solche Systeme zeichnen sich besonders vor anderen durch hohe Ausgangsspannung bei kleinen Rückstellkräften aus. Der konstruktive Aufbau eines modernen Kristallsystems ist aus Bild 50 zu ersehen.

Zur Abtastung der Schallrillen werden heute im allgemeinen Saphirnadeln benutzt. Für die voneinander abweichenden Rillenprofile der Normal- und Mikrorillenplatten werden Abtaststifte mit verschiedenen Abrundungsradien verwendet (Bild 48).

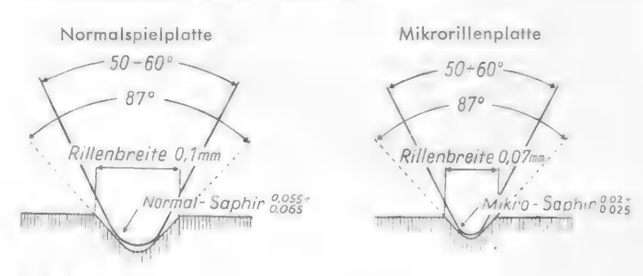


Bild 48

Damit man beim Umwechseln von einer Plattenart zur anderen (Mikrorillen- oder Normalplatte) nicht den Abtastsaphir, bzw. den ganzen Tonkopf auswechseln muß, werden Nadeln mit zwei Saphiren verwendet. Bild 49 läßt die beiden Saphierstifte, der eine für Normalrillen (N), der andere für Mikrorillen (M), so wie sie bei einer Nadel von DUAL angeordnet sind, erkennen. Bild 50 zeigt, wie die Nadel mit dem Kristallsystem verbunden ist.

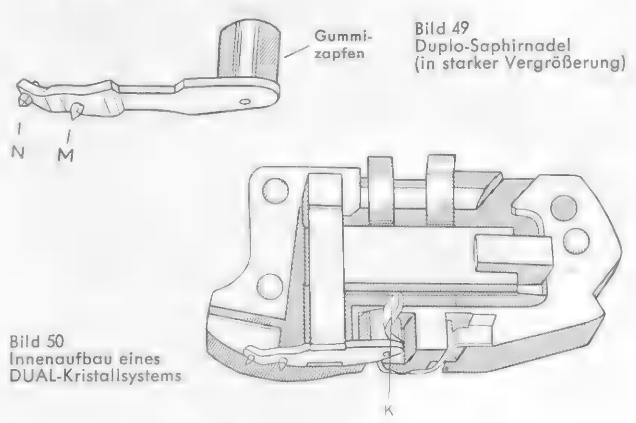


Bild 49
Duplo-Saphirnadel
(in starker Vergrößerung)

Bild 50
Innenaufbau eines
DUAL-Kristallsystems

Mit Saphirnadeln lassen sich mehrere tausend Plattenseiten abspielen. Sie nutzen sich wenig ab, sind aber spröde und verlangen deshalb sorgfältige Behandlung. Die Spitze einer Saphirnadel kann durch die Kanten eines Sprunges in der sich fortbewegenden Schallplatte (insbesondere einer Normalplatte) abgebrochen werden. Derart beschädigte Nadeln kratzen die Rillen auf und zerstören sie bald. Deshalb soll man sich hüten, eine gesprungene Platte mit einer Saphirnadel abzuspielen.
Ja, selbst ein „besserer" Kratzer kann der feinen Saphirnadel schädlich werden. Die Gefahr ist bei 78 Umdrehungen je Minute natürlich größer als bei 33⅓, wie ein Auto, das mit 78 km/h gegen ein Hindernis stößt, mehr abbekommt als eines, das nur 33 km/h „drauf" hat.

Beschreibungen und Abbildungen von DUAL-Geräten

Plattenspieler DUAL 295

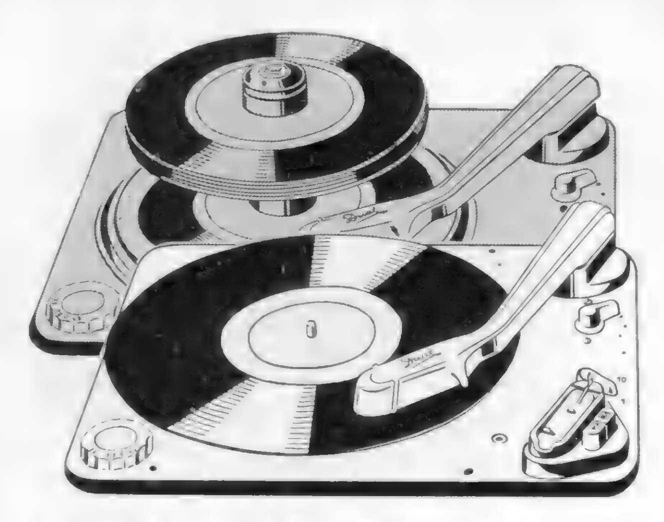
Ein Laufwerk besonders kleiner Bauart mit 4 Geschwindigkeiten 16, 33, 45 und 78 U/min. Für alle Normal- und Mikrorillen-Schallplatten bis 30 cm Ø. Die Drehzahl 16 U/min ermöglicht die Wiedergabe von Sprech- und Leseplatten.



Plattenteller: 17 cm Ø, versenkt, mit Gummibelag. Tonarm: DUAL-Breitband-Kristallsystem CDS 2 B mit Duplo-Saphirnadel DN 2. System und Nadel leicht auswechselbar. Auflagekraft: 7 . . . 10 g. Auslenkhärte: max. 1,2 g/60μ. Frequenzbereich: 20 Hz . . . 20 kHz. Frei von Resonanzen. Abmessungen: 285 x 210 mm. Mindestraumbedarf nach oben und unten jeweils 65 mm. Gewicht: 2,2 kg. Für Wechselstrom 110/125, 150/160 und 220/240 V.

Vollautomatischer Plattenspieler DUAL 280 W

Tastet als Einfachspieler sämtliche Normal- und Mikrorillenplatten von 17 . . . 30 cm Ø vollautomatisch ab, als Wechsler bis zu 10 Platten mit großem Mittelloch. 3 Drehzahlen: 33, 45 und 78 U/min. Starttasten kombiniert mit selbsttätiger Saphirumschaltung N oder M. Selbsttätige Tonarmverriegelung. Konstante Schalt- und Wechselzeiten unabhängig von der Drehzahl.



Plattenteller: 21 cm Ø, versenkt, mit Gummibelag. Tonarm: DUAL-Breitband-Kristallsystem CDS 3 mit Duplo-Saphirnadel DN 2. Kopf, System und Nadel leicht auswechselbar. Auflagekraft: 7 . . . 10 g. Rückstellkraft: max. 1,2 g/60μ. Frequenzbereich: 20 Hz . . . 20 kHz. Frei von Resonanzen. 2-Stufen-Klangfilter. Abmessungen: 328 x 273 mm, Einbauhöhe (zum Herausnehmen der Abwurfsäule notwendig): 143 mm, Einbautiefe: max. 90 mm. Farbe: goldbraun und elfenbein. Gewicht: 4,2 kg (mit Abwurfsäule).

Für Wechselstrom 110/125, 150/160 und 220/240 V.

280 G dieselbe Ausführung wie vorstehend, Gewicht: 4,4 kg, jedoch mit Gleichstrommotor 110/125, 150/160 und 220/240 V.

Universal-Plattenwechsler DUAL 1003

Tastet vollautomatisch bis zu 10 Normal- oder Mikrorillenschallplatten aller Größen von 17–30 cm Ø, gleicher Rillenprofile und Drehzahlen ab.

3 Drehzahlen: 33, 45 und 78 U/min. Automatische Saphirumschaltung kombiniert mit Starttaste. Pausenschaltung, Wiederholungseinrichtung, „Stop"-Taste. Selbsttätige Tonarmverriegelung, gleiche Wechsel- und Pausenzeiten bei allen 3 Drehzahlen.

Plattenteller: 21 cm Ø, versenkt, mit Gummibelag. Tonarm: DUAL-Breitband-Kristallsystem CDS 3 mit Duplo-Saphirnadel DN 2. Kopf, System und Nadel leicht auswechselbar. Auflagekraft: 7 . . . 10 g, Rückstellkraft: max. 1,2 g/60μ. Frequenzbereich: 20 Hz . . . 20 kHz. 2-Stufen-Klangfilter.

Abmessungen: 328 x 273 mm, 143 mm über, 75 mm unter der Platine.

Farbe: goldbraun und elfenbein. Gewicht: 4,7 kg.

Für Wechselstrom 110/125, 150/160 und 220/240 V.

Spezial-Abwurfsäule DUAL AS 3 für Platten mit großem Mittelloch, passend für Plattenwechsler 1003.



Phonokoffer DUAL party 295

Ein kleiner eleganter Koffer mit verschiedenfarbigen Bastnarben in Kunstleder. Darin eingebaut ist der 4tourige Einfachspieler 295 (siehe Seite 45). Im Deckel praktische Haltevorrichtung für 10 Schallplatten 17 cm Ø. Maße: 335 x 255 x 135 mm. Gewicht: 3,8 kg.



Phonokoffer DUAL party 1003

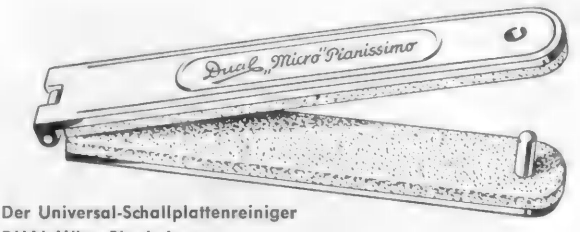
Dieser stabile aber handliche Koffer ist mit dem Plattenwechsler 1003 (siehe Seite 46/47) ausgerüstet. Er ist mit Kunstleder in verschiedenen Farben und Narben überzogen, abwaschbar und lichtecht, daher äußerst praktisch im Gebrauch. Der Deckel ist wie bei der Type party 295 durch Einhängescharniere leicht abnehmbar und mit einem Sicherheitsschnappschloß versehen. Netz- und Tonabnehmerschnüre werden mittels Gurte

gehalten, die Achsen in einer Federschelle untergebracht. Das Chassis ist gegen akustische Rückkoppelung auf Federn gelagert. Maße: 370 x 310 x 177 mm. Gewicht: 7,1 kg.



Phonokoffer DUAL party 280

mit eingebautem Automatikspieler 280 W (siehe Seite 45/46). Der Koffer hat die gleiche Ausstattung und die gleichen Maße wie DUAL party 1003. Gewicht: 6,5 kg.



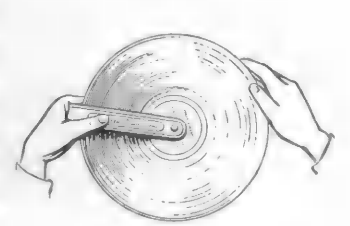
Der Universal-Schallplattenreiniger
DUAL-Mikro-Pianissimo

pflegt Schallplatten jeder Art und Größe bis 30 cm Durchmesser, auch Platten mit großem Mittelloch;

reinigt **beide** Plattenseiten in Rillenrichtung **gleichzeitig** mit einer Handbewegung;

beseitigt elektrostatische Aufladungen der Schallplatten und verhindert somit das Anziehen neuer Staubteilchen bei saubergehaltenem Plattenteller und

entfernt selbst mikroskopisch kleine Staubteilchen aus den feinen Mikrorillen.



Eine Mikrorille hat z. B. an ihrem oberen Auslauf eine Breite von nur ca. $^{70}/_{1000}$ mm und auf ihrem Grund einen Radius von ca. $^{7}/_{1000}$ mm. Die mikroskopisch feinen Staubteilchen, die sich darin ablagern, könnten selbst durch ein feines Frauenhaar, dessen Durchmesser etwa $^{50}/_{1000}$ mm beträgt, nicht beseitigt werden.

Der DUAL-Mikro-Pianissimo dagegen entfernt kleine und kleinste Staubteilchen, die beim Abspielen von Schallplatten recht störend in Erscheinung treten können, aus den feinen Mikrorillen restlos, natürlich auch aus Normalrillen.

Das bedeutet in der Praxis – einwandfreie Wiedergabe ohne jene Störungen, die bisher bei mangelhaft gesäuberten Schallrillen auftraten und verlängerte Lebensdauer des kostbaren Schallplattenbesitzes.



1 μ = 0,001 mm

DUAL-Diamant-Tonköpfe und -Nadeln

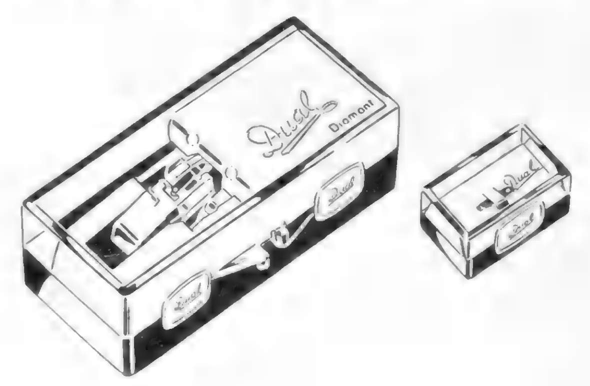
Obgleich die bisher üblichen Saphir-Nadeln in den DUAL-Systemen eine ungewöhnlich lange Lebensdauer haben, wurden diese Tonköpfe geschaffen, die noch höheren Ansprüchen genügen.

Die DUAL-Diamant-Tonköpfe TK-J Diamant und TK-G2 Diamant sind sogenannte Mono-Mikro-Systeme; das heißt sie sind nur zum Abspielen von Mikrorillen-Schallplatten bestimmt. Ihre Nadeln – DUAL DN 23 Diamant – sind aus hochwertigen Rohdiamanten hergestellt.

Mit modernsten mikroskopischen Verfahren wird jede Nadel auf exakte Spitzenverrundung und Oberflächenpolitur geprüft. Die außerordentliche Härte der Diamant-Nadel bietet gegenüber den Saphir-Nadeln eine etwa 10fache Gebrauchsdauer. Die geringste Auslenkhärte des DUAL-Systems CDS 3 verbürgt dabei eine höchstmögliche Schonung der wertvollen Schallplatten.

Die zweite Kombination sind die DUAL-Diamant-Tonköpfe TK-J Saphir-Diamant und TK-G2 Saphir-Diamant. Diese Tonköpfe sind zum Abtasten von Mikro- und Normalrillen bestimmt. Zwei Spitzen sind in der DUAL-Nadel DN 24 Saphir-Diamant vereinigt: die Diamant-Spitze für die kostbaren Mikrorillen- und die Saphir-Spitze für die Normalrillen-Schallplatten.

Für die Bestückung des Gerätes DUAL 1003 ist der Tonkopf TK-J Diamant oder TK-J Saphir-Diamant erforderlich, für das Gerät DUAL 280 der Tonkopf TK-G2 Diamant oder TK-G2 Saphir-Diamant.



Dämpfungsglieder

Unter Dämpfungsgliedern versteht man Mittel zur Herabsetzung von bestimmten Spannungen, Strömen oder Leistungen auf Bruchteile ihres Wertes. Ein einfaches veränderliches Dämpfungsglied ist z. B. das Potentiometer. Wichtiger sind die Kettenleiter, das sind Zusammenschaltungen von Widerständen bestimmter Anordnungen. Sie werden in Übertragungsleitungen eingeschaltet, um die jeweils verlangten Dämpfungen zu erhalten. Die Bilder 51 a bis d veranschaulichen verschiedene aus Widerständen aufgebaute Kettenleiter, die je nach ihrer Anordnung benannt werden. Die Schaltungen nach Bild 51 werden als „L-Glieder" oder „Halbglieder", die nach Bild 52 als „unsymmetrische T-Glieder", die nach Bild 53 als „symmetrische T-Glieder" bezeichnet.

Die Schaltanordnungen nach Bild 54 nennt man unsymmetrische, solche nach Bild 55 symmetrische π-Glieder.

Ferner gibt es überbrückte T-Glieder (Bild 56) und „Kreuzglieder" (Bild 57).

Als **Dämpfungsverhältnis** bezeichnet man das Verhältnis von zwei um eine Periode auseinanderliegenden Amplitudenwerten.

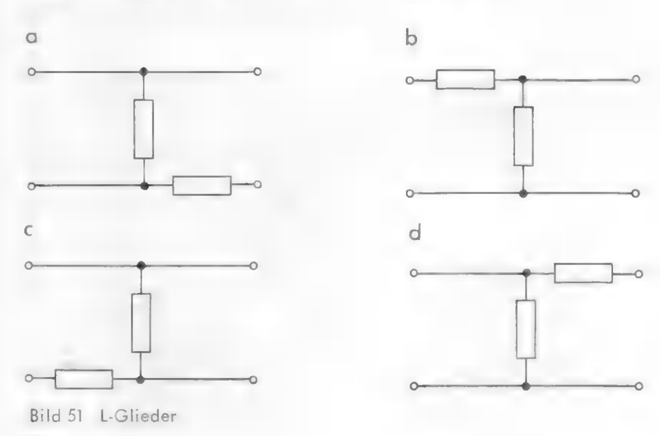
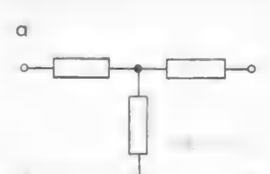


Bild 51 L-Glieder



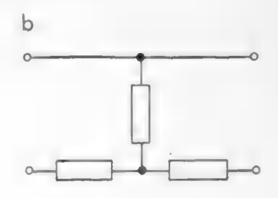


Bild 52
Unsymmetrische T-Glieder

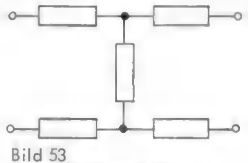


Bild 53
Symmetrisches T-Glied

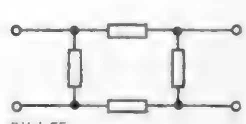
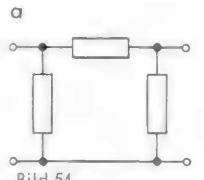


Bild 55
Symmetrisches π-Glied



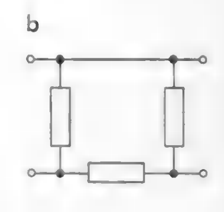


Bild 54
Unsymmetrische π-Glieder

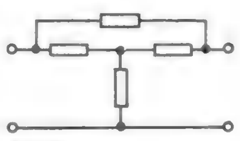


Bild 56
Überbrücktes T-Glied

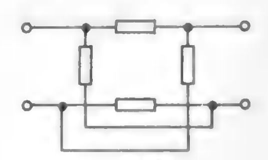


Bild 57
Kreuzglied

Pässe

Pässe sind Siebschaltungen (Filter) zur Dämpfung bzw. zur Aussiebung bestimmter Frequenzen. Sie gestatten es u. a. die Schallwiedergabe dem subjektiven Gehörempfinden anzupassen. Die Schaltelemente der Pässe sind Induktivitäten (Drosseln) und Kapazitäten (Kondensatoren), deren Werte sich nach dem Anpassungswiderstand richten, an den die Anordnung angeschlossen werden soll. An Stelle von Drosseln können u. U. Widerstände benutzt werden. Grundsätzlich unterscheidet man Hoch-, Tief- und Bandpässe. Der Hochpaß sperrt alle Frequenzen unterhalb einer bestimmten Schwingungszahl, läßt die höheren jedoch ungehindert hindurch. Bild 58 zeigt die Grundschaltung des Hochpasses mit einer Kapazität als Längsglied und einer Induktivität als Querglied. Die Frequenzkurve eines derartig geschalteten Hochpasses ist in Bild 59 wiedergegeben. Zwei weitere Schaltmöglichkeiten gehen aus den Bildern 60 und 61 hervor. Die der letztgenannten Schaltung entsprechende Frequenzkurve zeigt Bild 62. Der Tiefpaß besteht umgekehrt aus Gliedern, die von einer bestimmten Grenzfrequenz an Schwingungen mit höheren Werten einen hohen Widerstand entgegensetzen. Die Grundform eines Tiefpasses besteht aus einem induktiven Längsglied und einem kapazitiven Querglied (Bild 63). Eine entsprechende Frequenzkurve zeigt Bild 64. – Kombinationen nach Bild 65 und 66 ändern die Frequenzkurve des Tiefpasses, wie z. B. aus Bild 67 im Vergleich zu Bild 64 hervorgeht.

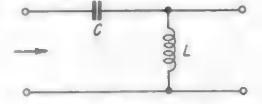


Bild 58 Grundsätzliche Form eines Hochpasses

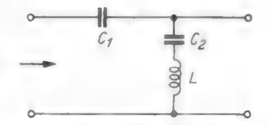


Bild 60 Hochpaß mit 2 Kondensatoren

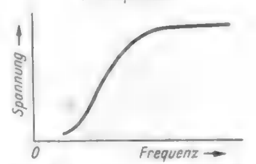


Bild 59 Frequenzkurve zu Paß Bild 58

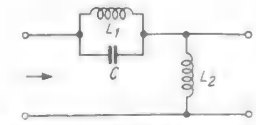


Bild 61 Hochpaß mit 2 Drosseln

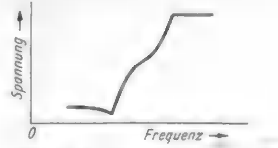


Bild 62 Frequenzkurve zu Paß Bild 61

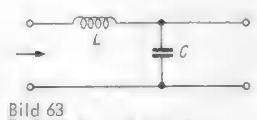


Bild 63
Tiefpaß (grundsätzlich)

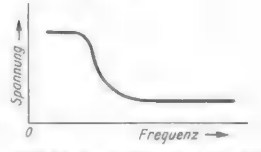


Bild 64 Frequenzkurve zu Paß Bild 63

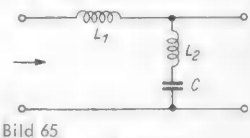


Bild 65
Tiefpaß mit 2 Drosseln

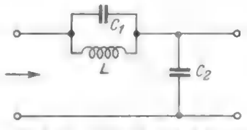


Bild 66 Tiefpaß mit 2 Kondensatoren

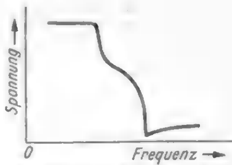


Bild 67 Frequenzkurve zu Paß Bild 66

Werden, um ein Beispiel anzugeben, zwei Lautsprecher benutzt, ein Hochton- und ein Tieftonlautsprecher (zwei Kanäle), dann können Hochpaß und Tiefpaß nach Bild 68 zugeschaltet werden. Die Errechnung der Induktivitäts- bzw. Kapazitätswerte wird nach den folgenden Formeln vorgenommen:

$$L = \frac{R \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot f}$$



$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R \cdot \sqrt{2}}$$

(L in Henry, C in Farad, R in Ohm, f in Hertz.)

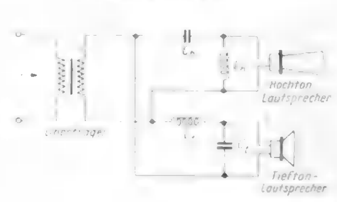


Bild 68
Hochpaß und Tiefpaß in Verbindung mit einem Hochton- und einem Tieftonlautsprecher

Der **Bandpaß** läßt nur ein beschnittenes Frequenzband durch, höhere und tiefere Frequenzen werden abgeschnitten. In anderer Anordnung schneidet das Filter ein zu unterdrückendes Frequenzband heraus. Ein Bandpaß wird z. B. nach Bild 69 geschaltet, wenn er ein bestimmtes Frequenzband durchlassen soll. Die zugehörige Kurve veranschaulicht Bild 70. Soll ein bestimmtes Frequenzband unterdrückt werden, dann kann die Schaltung Bild 71 angewandt werden (zugehörige Frequenzkurve Bild 72).

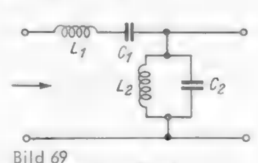


Bild 69
Schema eines Bandpasses (grundsätzliche Anordnung)

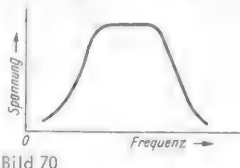


Bild 70
Frequenzkurve zum Bandpaß Bild 69

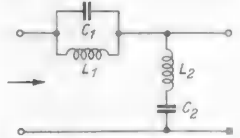


Bild 71 Bandpaß zur Unterdrückung eines bestimmten Frequenzbandes

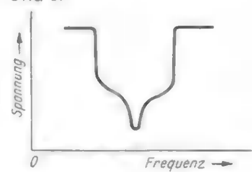


Bild 72
Frequenzkurve zum Bandpaß Bild 71

Zu den Pässen gehört die „Klangblende" (Tonblende). Der gleichen Gruppe gehören die „Nadelgeräuschfilter" für die Schallplattenwiedergabe an. Sie sind in gewissem Sinne Tiefpässe, die den Frequenzbereich dämpfen.

„Entzerrer" haben die Aufgabe, die Wiedergabe durch Anhebung bzw. Dämpfung gewisser Frequenzgebiete einer als natürlich empfundenen Wiedergabe anzupassen. Sie bestehen wie fast alle Pässe aus Drosseln und Kondensatoren in bestimmter Anordnung. Ein Beispiel, bei dem auf die Verwendung von Drosseln verzichtet werden kann und Widerstände verwendet werden, zeigt Bild 73.

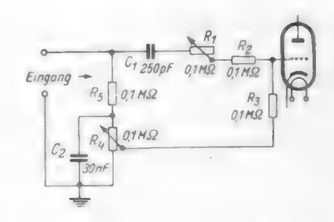


Bild 73
Schaltung zur Entzerrung ohne Anwendung von Drosseln

„Tonabnehmerentzerrer" dienen zur Anhebung der Tiefen bei der Wiedergabe, da die Bässe nämlich die Frequenzen unter 500 Hz, bei der Aufnahme absichtlich geschwächt werden, um ein Ineinanderschneiden der Rillen zu verhindern. Die Induktivitäten und Kapazitäten haben je nach der Art des Tonabnehmers (hochohmig oder niederohmig) verschiedene Werte. Das Bild 74 gibt ein Schaltungsbeispiel an.

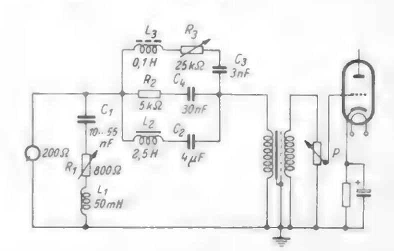


Bild 74
Filteranordnung für Tonabnehmer (200 Ω)

„Schreibentzerrer" haben die umgekehrte Aufgabe bei der Schallplattenaufnahme zu erfüllen, d. h. sie haben die erwähnte Schwächung der tiefen Frequenzen zu bewirken.

Im Zusammenhang mit den Pässen muß der Ausdruck **„Vierpole"** erwähnt werden. Das sind Schaltanordnungen zur Übertragung elektrischer Energie, die zwei Pole als Eingangs- und zwei Pole als Ausgangsklemmen haben. Vierpole sind Doppelleitungen aller Art (Übertrager, Siebschaltungen, Entzerrer, Pässe, Verstärker). Als Vierpole gelten auch drahtlose Strecken, einschließlich der Sende- und Empfangsantennen.

Kopfhörer

Kopfhörer sind in ihrer Bedeutung sehr in den Hintergrund gedrängt worden, obwohl in letzter Zeit wieder mehr Gebrauch von ihnen gemacht wird: Abhören von Schallplatten in besonderen Fällen (Vorführung in Geschäften), in bestimmter Formgebung als Hörgeräte für Schwerhörige. Nicht zuletzt dienen sie heute noch als Wiedergabeinstrumente im Fernsprechverkehr, im Funkwesen, in Krankenhäusern, usw.

In der Meßtechnik spielen besonders die alten elektromagnetischen Systeme auf Grund ihrer Empfindlichkeit eine große Rolle, ermöglichen sie doch die Wahrnehmung von Schalleistungen in der Größenordnung von wenigen Mikrowatt.

Neben den elektromagnetischen Typen gibt es elektrostatische und piezoelektrische Kopfhörer; elektrodynamische werden nur selten hergestellt.

Die **„elektromagnetischen" Systeme** bestehen im Prinzip aus einem Dauermagneten mit Wicklungen auf den beiden Polschuhen; über den Polen befindet sich die eiserne Membran. Frequenzbereich 300 bis 5000 Hertz. Spulenwiderstand von Rundfunkkopfhörern etwa 2000 Ohm, von Fernsprechtypen 60 bis 200 Ohm (Gleichstromwiderstand).

Im **„elektrostatischen" Kopfhörer** benutzt man einen unter Gleichspannung stehenden Plattenkondensator; ein Belag ist die Kopfhörermembran. Zuführung der Wechselspannung im allgemeinen über einen Transformator. Gute Wiedergabe. Größere Empfindlichkeit verlangt eine hohe Hilfsgleichspannung und kleinsten Belagabstand.

Im **„piezoelektrischen" Kopfhörer** werden Kristalle des Seignettesalzes in Form von Doppelelementen verwendet. Die Tonfrequenz wird den leitenden Belägen auf den einander gegenüberliegenden Seiten des Kristallsystems zugeführt. Unter dem Einfluß eines Wechselfeldes ziehen sie sich zusammen oder dehnen sich aus: sie schwingen im Takt der Tonfrequenz und bewegen so die mit ihnen in Verbindung stehende Membran des Kopfhörers. Gute Frequenzkurve, kleiner Klirrfaktor.

Lautsprecher

Lautsprecher setzen wie die Kopfhörer tonfrequente elektrische Schwingungen in hörbaren Schall um, nur daß die ihnen zugeführte elektrische Energie größer ist und entsprechend die abgeführte Schallenergie. Die Arten der Lautsprecher werden durch das jeweilige Antriebssystem unterschieden. Die früheren **„elektromagnetischen Lautsprecher"** werden kaum mehr verwendet, ein Eingehen auf sie erübrigt sich daher.

Die meist verwendeten Lautsprecher arbeiten nach dem elektrodynamischen Prinzip: **dynamische Lautsprecher.** Bild 75 veranschaulicht das Prinzip. Eine „Schwingspule" taucht in den kreisförmigen Luftspalt eines Topfmagneten. Die der Spule zugeführten tonfrequenten Ströme rufen Feldänderungen hervor, die sich in der Bewegung der Spule äußern. Mit der Spule ist eine konusförmige Membran fest verbunden.

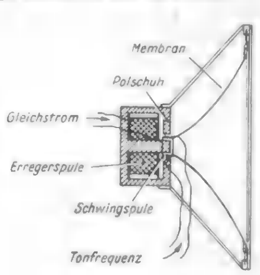


Bild 75
Aufbau eines dynamischen Lautsprechers mit einem Elektromagneten

Das magnetische Feld wurde früher, als es noch nicht möglich war, kräftige Dauermagnete herzustellen, durch eine Wicklung auf dem Kern des Topfmagneten erzeugt, die mit Gleichstrom gespeist wurde (zusätzliche Gleichstromleistung 15 bis 20 Watt). Heute verwendet man meist topfförmige Stahlmagnete (Permanentmagnete).

„Heißgerichteter Magnet" ist ein Fachausdruck für die magnetische Ausrichtung der Moleküle im flüssigen Zustand. Das Magnetmaterial wird während des Erstarrens in ein starkes magnetisches Feld gebracht, wodurch die Molekularmagnete sich von vornherein in die günstigste Lage ordnen (Erhöhung der magnetischen Feldstärke um etwa 30 %).

Die „Schwingspule" oder „Triebspule" muß genau zentriert sein. Man verwendet u. a. die Spule haltende „Spinnen", welche die notwendige Nachgiebigkeit haben. Je nach ihren Anbringungen unterscheidet man Außenspinnen, welche die Schwingspule von außen halten, und Innenspinnen, die im Innern der Spule angebracht sind. Die Schwingspulen werden niederohmig ausgeführt (zwischen 2 und 10 Ohm).

Dynamische Lautsprecher haben einen relativ guten Wirkungsgrad. Sprechleistungen zwischen 1 und 50 Watt (in Ausnahmefällen auch höhere Leistungen). Die Verluste durch den Ausgangsübertrager zwischen Röhre und Lautsprecher betragen etwa 20 bis 25 % der Gesamtleistung.

Zur bevorzugten Abstrahlung hoher Frequenzen verwendet man manchmal elektrostatische Systeme. Sie geben die Tiefen nicht gut wieder. Ihr Wirkungsgrad ist gering. Der elektrostatische Lautsprecher beruht auf dem Kondensatorprinzip. Den schematischen Aufbau veranschaulicht Bild 76. In geringem Abstand von einer leichten metallischen Membran ist eine durchlöcherte starre Metallplatte angebracht. Oft befindet sich eine gleich starre Platte auf der anderen Membranseite. Unter dem Einfluß der tonfrequenten Wechselspannung, die, wie das Bild zeigt, angelegt wird, schwingt die Membran. Eine zusätzliche Gleichspannung ist erforderlich.

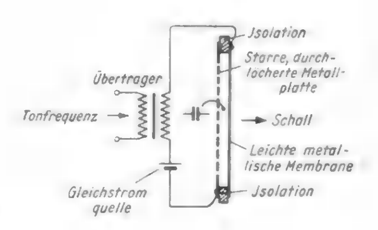


Bild 76
Schema und Anschaltung eines Kondensator-Lautsprechers

„Kristallautsprecher" (piezoelektrische Lautsprecher): Der piezoelektrische Effekt gewisser Kristalle kann als Antriebssystem für Hochtonlautsprecher verwendet werden. Schallabstrahlung vielfach durch einen kleinen Trichter, es gibt aber auch andere Ausführungsformen (meist kleiner Ausmaße). Solche Lautsprecher haben kapazitive Widerstände von ca. 25000 Ohm bei 1000 Hz; sie entsprechen damit einem Kondensator von etwa 6500 Picofarad.

Der „Wirkungsgrad" moderner dynamischer Lautsprecher erreicht 10% gegen 1 bis 2% älterer Modelle. Er wächst an mit dem Quadrat der Felddichte im Luftspalt des Magneten und fällt ab mit dem Quadrat der Masse der Membran und der Schwingspule. Eine Verkleinerung der Membran würde zu einer Benachteiligung der tiefen Töne führen; daher ist Dünnwandigkeit anzustreben. Die Versuche der Industrie gehen in der Richtung, möglichst leichte Membranen herzustellen. Es gibt z. B. Membranen aus Glasgespinst, deren Gewicht minimal ist und die überdies feuchtigkeitsunempfindlich sind. Neben den verschiedenen Kunststoffabrikaten werden Aluminiumfolien verwendet. Für große Lautsprecher mit breitem Frequenzband benutzt man nach wie vor sogenannte Pappengußmembranen.

Der „Frequenzbereich" moderner Lautsprecher geht hinauf bis zu 16000 Hertz, wenn auch die Frequenzlinie nie ganz geradlinig ist.

Die „Leistung" von Lautsprechern wird in Watt angegeben. Im allgemeinen richtet man sich bei den Leistungsangaben nach der oberen Grenze: ein 3-Watt-Lautsprecher ist ein solcher, der gerade noch 3 Watt Tonfrequenzleistung verträgt. Dabei ist die Wiedergabegüte nicht berücksichtigt; schränkt man die Leistungsangabe durch die Bedingung der Messung bei bester Wiedergabe ein, so sinkt der „vertragene" Leistungswert stark ab. – Lautsprecher mit einer Leistung von 25 Watt sind keine Seltenheit mehr.

Die „Schallabstrahlung" ist mehr oder weniger frequenzabhängig: die hohen Frequenzen werden gebündelter abgestrahlt als die tiefen (Bild 77). Daher kommt es, daß ein in der verlängerten Lautsprechermittelachse befindlicher Hörer die Höhen besser wahrnimmt als die Tiefen. Um diese Erscheinung einzudämmen, ist man verschiedene Wege

gegangen. U. a. hat man einen klangzerstreuenden Konus in der Lautsprechermitte angebracht, der zuerst fest war, später aber als Hochtonkonus mitschwang.

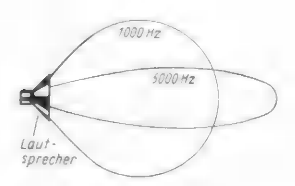


Bild 77
Die höheren Tonfrequenzen werden anders abgestrahlt als die niedrigen

Die meisten Lautsprecher üblicher Konstruktion geben die hohen und höchsten Tonfrequenzen schlecht oder überhaupt nicht wieder. Daher verbindet man zwei Lautsprechersysteme miteinander, von denen das eine vorzugsweise die Tiefen und die Mittellage wiedergibt und ein zweiter Hochtonlautsprecher (oft Kristall-System) die Höhen abstrahlt. Die schalttechnische Verbindung beider Systeme geschieht in der Weise, wie es Bild 78 zeigt. Der Kondensator hält dem Hochtonlautsprecher die tiefen Frequenzen fern und sorgt dafür, daß dem Hauptlautsprecher nicht zuviel Leistung entzogen wird und wirkt zusammen mit dem Hochtonsystem als Impedanzausgleich. Die elektrische Weiche kann auch mit zusätzlichen Drosseln nach Bild 79 aufgebaut werden.

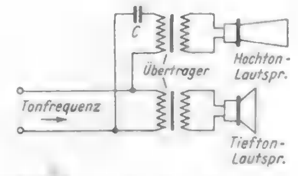


Bild 78
Möglichkeit der Anschaltung eines Hochton- und eines Tieftonlautsprechers

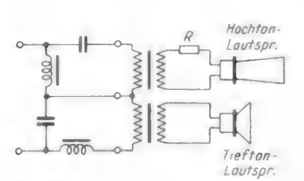


Bild 79
Lautsprecheranordnung mit elektrischer Weiche

Unter „Impedanz" versteht der Techniker den Wechselstromwiderstand der Sprechströme. – Zur Erzielung von „Raumton" (3 D) ordnet man u. a. mehrere in ihrer Strahlrichtung gegeneinander versetzte Hochton- und Tieftonlautsprecher in Rundfunkgeräten oder in gesonderten Einheiten an.

Die Lautsprecher müssen dem Verstärkerausgang angepaßt sein: die Widerstandsverhältnisse zwischen Tonfrequenzquelle und Verbraucher müssen aufeinander abgestimmt sein.

1. Dezibel-Tafel

Dezibel	Wertverhältnis der Spannungen bzw. Ströme	der Leistungen
0	1,00	1,00
1	1,12	1,26
2	1,26	1,59
3	1,41	1,99
4	1,59	2,53
5	1,78	3,16
6	2,00	4,00
7	2,24	5,01
8	2,51	6,30
9	2,82	7,95
10	3,16	10,00
12	3,98	15,80
14	5,01	25,20
16	6,31	39,90
18	7,94	63,00
20	10	100
30	31,62	1 000
40	100	10 000
50	316	100 000
60	1 000	10^6
70	3 162	10^7
80	10 000	10^8
90	31 620	10^9
100	100 000	10^{10}

2. Neper-Tafel

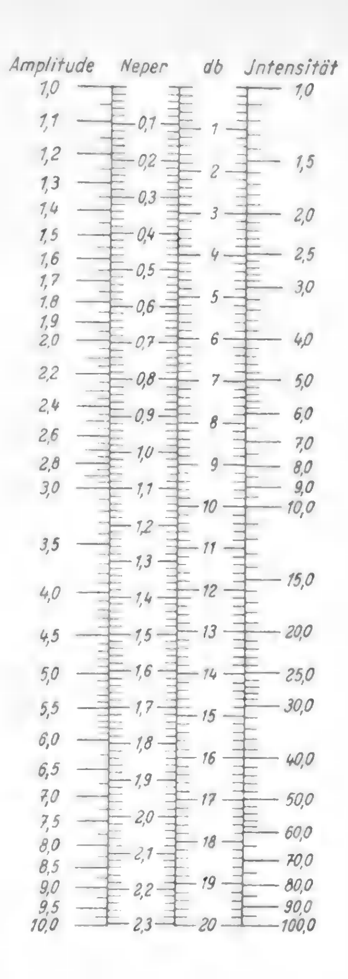
Neper	Wertverhältnis der Spannungen bzw. Ströme ca.	Wertverhältnis der Leistungen ca.
0,00	1,000	1,00
1,00	2,72	7,39
2,00	7,40	54,4
3,00	20,1	405
4,00	54,5	2 970
5,00	148	21 900
6,00	403	163 000
7,00	1 090	1 190 000
8,00	2 960	8 760 000
9,00	8 050	$64{,}9 \cdot 10^{6}$
10,00	21 800	$4{,}75 \cdot 10^{8}$
12,0	161 000	$2{,}59 \cdot 10^{10}$
14,0	1 180 000	$1{,}39 \cdot 10^{12}$
16,0	8 800 000	$77 \cdot 10^{12}$
18,0	$67 \cdot 10^{6}$	$44 \cdot 10^{14}$
20,0	$490 \cdot 10^{6}$	$24 \cdot 10^{16}$

Zwischen Dezibel und Neper gelten die Beziehungen:

1 N = 8,686 db = 0,8686 Bel

1 db = 0,1 Bel = 0,1151 N

3. Beziehung zwischen Amplitudenverhältnis, Neper, Dezibel und Intensitätsverhältnis



4. Vorzeichen zur Bezeichnung von Vielfachen und Teilen

T Tera $= 10^{12} =$	1 000 000 000 000	Billion (Bio)
G Giga $= 10^{9} =$	1 000 000 000	Milliarde (Mrd)
M Mega $= 10^{6} =$	1 000 000	Million (Mio)
k Kilo $= 10^{3} =$	1 000	Tausend (Tsd)
h Hekto $= 10^{2} =$	100	Hundert
D Deka $= 10^{1} =$	10	Zehn
$10^{0} =$	1	Eins
d Dezi $= 10^{-1} =$	0,1	Zehntel
c Zenti $= 10^{-2} =$	0,01	Hundertstel
m Milli $= 10^{-3} =$	0,001	Tausendstel
μ Mikro $= 10^{-6} =$	0,000 001	Millionstel
n Nano $= 10^{-9} =$	0,000 000 001	Milliardstel
p Pico $= 10^{-12} =$	0,000 000 000 001	Billionstel

5. Maßeinheiten der Leistung

Einheit	mkg/s	PS	cal/s	W	kW	erg/s
1 mkg/s	1	0,013 3	2,34	9,81	0,009 81	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$
1 PS	75	1	176	735,5	0,735 5	$7{,}355 \cdot 10^{9}$
1 cal/s	0,427	0,005 68	1	4,18	0,004 18	$4{,}186 \cdot 10^{7}$
1 W	0,102	0,001 36	0,239	1	10^{-3}	10^{7}
1 kW	102	1,36	239	10^{3}	1	10^{10}

6. Maßeinheiten der Arbeit

Einheit	kgm	PSh	kcal	Erg	Joule (Ws)	kWh
1 kgm	1	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$	$2{,}34 \cdot 10^{3}$	$9{,}81 \cdot 10^{5}$	9,81	$2{,}72 \cdot 10^{-6}$
1 PSh	$2{,}7 \cdot 10^{5}$	1	632	$2{,}65 \cdot 10^{11}$	$2{,}65 \cdot 10^{6}$	0,736
1 kcal	426,81	$1{,}58 \cdot 10^{-3}$	1	$4{,}186 \cdot 10^{10}$	4184,2	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$
1 Erg	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$3{,}78 \cdot 10^{-14}$	$2{,}39 \cdot 10^{-11}$	1	10^{-7}	$2{,}78 \cdot 10^{-14}$
1 Joule = (Wattsek.)	0,102	$3{,}78 \cdot 10^{-7}$	$2{,}39 \cdot 10^{-4}$	10^{7}	1	$2{,}78 \cdot 10^{-7}$
1 kWh	$3{,}67 \cdot 10^{5}$	1,36	860	$3{,}6 \cdot 10^{12}$	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1

7. Elektrische Maßeinheiten

Für:	Einheit	Kurzzeichen	Formelzeichen
Spannung	Volt Kilovolt Millivolt	V kV mV	U
Stromstärke	Ampere Kiloampere Milliampere	A kA mA	I (bzw. J)
Widerstand	Ohm Kiloohm Megohm Teraohm	Ω k M T	R
Leitfähigkeit	Siemens	S	G
Elektrizitätsmenge	Coulomb Amperestunde Amperesekunde	C Ah As	Q
Induktivität	Henry Millihenry Mikrohenry	H mH μH	L
Kapazität	Farad Mikrofarad Pikofarad	F μF pF	C
Leistung	Watt Kilowatt Blindkilowatt Voltampere Kilovoltampere	W kW BkW VA kVA	N
Arbeit	Wattstunde Wattsekunde (Joule) Kilowattstunde	Wh Ws kWh	A
Frequenz	Hertz *) Kilohertz Megahertz	Hz kHz MHz	f

*) englisch: cycle (c), kilocycle (kc), megacycle (Mc).

8. Umrechnungstabelle für Kapazitätsmaße

Einheit	F	μF	nF	pF	cm
1 F (Farad)	1	10^{6}	10^{9}	10^{12}	$0{,}9 \cdot 10^{12}$
1 μF (Mikrofarad)	10^{-6}	1	10^{3}	10^{6}	$0{,}9 \cdot 10^{6}$
1 nF (Nanofarad)	10^{-9}	10^{-3}	1	10^{3}	$0{,}9 \cdot 10^{3}$
1 pF (Pikofarad)	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}	1	0,9
1 cm (Zentimeter)	$1{,}11 \cdot 10^{-12}$	$1{,}11 \cdot 10^{-6}$	$1{,}11 \cdot 10^{-3}$	1,1	1

9. Umrechnungstabelle für Induktivitätsmaße

Einheit	H	mH	μH	cm
1 H (Henry)	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}
1 mH (Millihenry)	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}
1 μH (Mikrohenry)	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}
1 cm (Zentimeter)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

10. Maßeinheiten des Magnetismus

Für:	Einheit	Kurz-zeichen	Formel-zeichen
Magnetische Feldstärke	Ampere/cm	A/cm	$\mathfrak{H}$
Magnetische Spannung	Ampere	A	V
Magnetische Induktion	Weber/cm²	Wb/cm²	$\mathfrak{B}$
Magnetischer Induktionsfluß	Weber	Wb = Vs	Φ

Inhaltsverzeichnis